

TESIS

**PEMODELAN DAYA TAMPUNG BEBAN PENCEMARAN DI SUNGAI
JENEBERANG HILIR**

Modeling Of Pollution Load Capacity In Downstream Jeneberang River

RESKI KURNIATI

D092202006



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK LINGKUNGAN
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

TESIS
PEMODELAN DAYA TAMPUNG BEBAN PENCEMARAN DI SUNGAI
JENEBERANG HILIR

Modeling Of Pollution Load Capacity In Downstream Jeneberang River

RESKI KURNIATI

D092202006



PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK LINGKUNGAN
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023

PENGAJUAN TESIS

**PEMODELAN DAYA TAMPUNG BEBAN PENCEMARAN DI
SUNGAI JENEBERANG HILIR**

Tesis

Sebagai salah satu syarat untuk Mencapai Gelar Magister
Program Studi Teknik Lingkungan

Disusun dan diajukan oleh

**RESKI KURNIATI
DO92202006**

Kepada

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

TESIS

PEMODELAN DAYA TAMPUNG BEBAN PENCEMARAN DI SUNGAI JENEBERANG HILIR

RESKI KURNIATI
D092202006

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi pada Program Magister Teknik Lingkungan Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin

Pada tanggal 12 September 2023

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

UNIVERSITAS HASANUDDIN

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Prof. Dr. Ir. Mary Selintung, M.Sc.
NIP. 194306122018016000

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST., MT., IPM., ASEAN.Eng.
NIP. 197309262000121002

Pembimbing Pendamping



Dr. Roslinda Ibrahim, S.P., M.T.
NIP. 197506232015042001

Ketua Program Studi
S2 Teknik Lingkungan



Dr. Roslinda Ibrahim, S.P., M.T.
NIP. 197506232015042001

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : RESKI KURNIATI
Nomor mahasiswa : D092202006
Program Studi : Teknik Lingkungan

Dengan ini menyatakan bahwa, tesis berjudul **“Pemodelan Daya tampung Beban Pencemaran di Sungai Jeneberang Hilir”** adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi Pembimbing (Prof. Dr. Ir. Mary Selintung, M.Sc. sebagai Pembimbing Utama dan Dr. Roslinda Ibrahim, S.P., M.T. sebagai Pembimbing Pendamping). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun. Semua informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah diublikasikan di Jurnal Internasional Scopus Q3 (**The Seybold Report Journal, ISSN 1533-9211, Volume 18, Nomor 07, Halaman 1365-1374, dan DOI 10.17605/OSF.IO/S48PJ**) sebagai artikel dengan judul **“Determination Of Water Quality Status Of Downstream Jeneberang River Using The Pollution Index Method.”**

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 19 September 2023

Yang menyatakan,



Reski Kurniati

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu'Alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah Rabbil Alamin, segala puji bagi ALLAH SWT karena berkat limpahan rahmat, taufik, nikmat dan hidayah-Nya lah sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul “**Pemodelan Daya Tampung Beban Pencemaran Di Sungai Jeneberang Hilir**” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Shalawat dan salam tak lupa pula penulis haturkan kepada Baginda Rasulullah Muhammad SAW Bersama keluarga serta para sahabat Beliau yang merupakan sumber cahaya ilmu pengetahuan dan hikmah.

Dalam penyusunan tesis ini penulis banyak mengalami hambatan, namun berkat bantuan dan arahan yang ikhlas dari berbagai pihak, akhirnya tesis ini dapat terselesaikan dengan baik. Dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat, penulis ingin menyampaikan terima kasih serta penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. **Allah Subhana Wu Ta'ala.**
2. Ayahanda tercinta **H. Muh. Basri. U** dan ibunda tercinta **Hj. Rahmawati** selaku orang tua dari penulis yang tiada hentinya memberikan kasih sayang, dorongan, motivasi dan iringan do'a yang tulus serta memberikan bantuan moril maupun materil sehingga penulis dapat menyelesaikan pendidikan di jenjang ini, serta adik-adik tersayang penulis, **Rizka Dwi Anugrah, S.H., Mutmainnah Wulandari** dan **Khairah Ismahani** yang senantiasa mendukung dan mendoakan penulis untuk tidak lengah dan semangat untuk menyelesaikan perjalanan ini.
3. **Ibu Dr. Roslinda Ibrahim, S.P., M.T.**, selaku Ketua Program Studi S2 Teknik Lingkungan Universitas Hasanuddin sekaligus Pembimbing Pendamping yang

telah memberikan bimbingan, nasihat dan masukan-masukan kepada penulis dalam penyelesaian tesis ini.

4. **Ibu Prof. Dr. Ir. Mary Selintung, M. Sc.**, selaku Pembimbing Utama yang telah memberikan bimbingan, nasihat dan masukan-masukan kepada penulis dalam penyelesaian tesis ini.
5. **Ibu Prof. Dr. Ir. Hj. Sumarni Hamid Aly, M.T., Bapak Dr. Ir. Achmad Zubair, M.Sc.**, dan **Bapak Dr. Eng. Irwan Ridwan Rahim, S.T., M.Eng.**, selaku penguji yang telah meluangkan waktu serta memberikan saran dan masukan kepada penulis dalam perbaikan penyusunan tesis.
6. **Seluruh Bapak/Ibu Dosen Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin** atas ilmu yang telah diberikan selama penulis duduk di bangku kuliah.
7. **Seluruh Staf dan Karyawan Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin** yang selalu membantu dalam pengurusan administrasi.
8. **Seluruh Staf dan Karyawan Laboratorium Kualitas Air Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan Laboratorium Produktivitas dan Kualitas Perairan Departemen Perikanan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin** yang telah membantu selama penelitian berlangsung.
9. Kakak-kakak sahabat Laboratorium Kualitas Air, **Andi Elfina Wahyuni R, S.T., Iitra Achbar Sahdian, S.Si., Faisal S.T.**, dan **Muh Rafi Aryawardhana, S.T.**, yang telah membersamai masa perkuliahan dan meluangkan waktu untuk mendampingi proses pengambilan data maupun penyelesaian tesis ini.
10. Adik-adik WA Grup Jeneberang Tim, **Athilla, Reynaldi, Bintang, Miratul dan Irsyad**, yang telah membantu selama penelitian berlangsung.
11. Kanda **Edi Wahyudi, S.Si.**, yang telah membantu selama penelitian berlangsung di tengah-tengah kesibukannya.
12. Kakak **Moch. Aqsa Setiadi Harun, S.Si.**, yang selalu menjadi teman diskusi dan senantiasa memberikan motivasi, semangat dan dukungan moril maupun materil untuk menyelesaikan tesis ini. Terima kasih banyak karena selalu ada walau jarak memisahkan.

13. Teruntuk Penulis, terima kasih sudah bertahan dan memaksimalkan diri untuk menyelesaikan tesis ini.

Tesis ini disusun dengan segala kemampuan dan keterbatasan penulis, karena itu saran dan kritik konstruktif sangat diperlukan demi kesempurnaan penulisannya. Penulis menyadari bahwa tesis ini tidak luput dari kekurangan dan kelemahan, namun besar harapan kiranya dapat bermanfaat utamanya bagi penulis sendiri dan bagi pengembangan ilmu pengetahuan khususnya dalam bidang teknik lingkungan pada umumnya.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Gowa, 19 September 2023

Reski Kurniati

ABSTRAK

RESKI KURNIATI. *Pemodelan Daya Tampung Beban Pencemaran di Sungai Jeneberang Hilir* (dibimbing oleh **Mary Selintung** dan **Roslinda Ibrahim**).

Sungai Jeneberang, salah satu sungai terbesar di Sulawesi Selatan yang memiliki banyak fungsi, termasuk sumber daya air, pertanian, perkebunan, domestik, dan industri. Berdasarkan data hasil monitoring kualitas air sungai ONLIMO KLHK pada bulan Juli tahun 2022, menunjukkan bahwa Sungai Jeneberang bagian hilir telah tercemar ringan hingga tercemar sedang dengan nilai IP untuk parameter BOD antara 1 sampai dengan 7. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kualitas air di Sungai Jeneberang bagian hilir, menganalisis besaran jumlah beban pencemar yang masuk ke badan Sungai Jeneberang bagian hilir, dan menentukan daya tampung beban pencemar di Sungai Jeneberang bagian hilir. Penelitian ini dilakukan dengan mengambil sampel kualitas air pada 5 segmen dengan 5 titik. Analisis kualitas air menggunakan metode Indeks Pencemar (IP) untuk melihat bagaimana status mutu dari Sungai Jeneberang bagian hilir. Penentuan daya tampung beban pencemaran (DTBP) dilakukan dengan membuat skenario hasil dari pemodelan WASP untuk menurunkan konsentrasi parameter kualitas air hingga memenuhi baku mutu yang ditetapkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Sungai Jeneberang bagian hilir berada pada status “cemar ringan” dengan nilai Indeks Pencemaran (IP) rata-rata 2,11. Berdasarkan hasil pemodelan kualitas air dengan WASP memperlihatkan bahwa WASP dapat merepresentasikan BOD mendekati hasil observasi sedangkan parameter DO, COD, dan TSS belum bisa dikarenakan nilai RMSE yang menjauhi nilai minimum yang dipersyaratkan. Berdasarkan beberapa skenario simulasi yang digunakan diperoleh besaran beban pencemaran yang masuk ke badan Sungai Jeneberang bagian hilir untuk parameter BOD adalah 2.934,85 kg/hari atau 29,34 ton/hari. Berdasarkan hasil simulasi skenario 3 *trial and error* agar mencapai baku mutu kelas II, maka besar daya tampung beban pencemaran (DTBP) yang diperbolehkan untuk parameter BOD adalah sebesar 1.172,77 kg/hari atau 11,73 ton/hari.

Kata Kunci: DTBP, kualitas air, metode indeks pencemaran

ABSTRACT

RESKI KURNIATI. *Modeling Of Pollution Load Capacity In Downstream Jeneberang River* (supervised by **Mary Selintung** and **Roslinda Ibrahim**).

The River Jeneberang, one of South Sulawesi's biggest rivers, serves a variety of purposes, including providing water for agriculture, plantations, domestic use, and industry. Due to changes in land use, river water quality degrades. The River Jeneberang is a mild to moderately polluted portion, according to data from the quality monitoring findings of the river water ONLIMO KLHK in July 2022, with IP values for BOD parameters between 1 and 7. This study's main goals are to evaluate the water quality at the downstream River Crossing, quantify the loads of pollutants that enter the upstream River, and assess the intensity of the loads of pollutants in the upperstream. Five segments and five sampling point were sampled for the study's water quality. The water quality analysis employs the Polluter Index (PI) approach to ascertain how the quality condition of Downstream of Jeneberang river alters over time. In order to minimize the concentration of water quality parameters and achieve the defined quality criteria, TMDL is done by developing a scenario based on WASP modeling. According to the study's findings, the Jeneberang River has a "light pollution" status and an average Pollution Index (IP) value of 2.11. Based on the findings of water quality modeling using WASP, it can be concluded that WASPs can accurately represent BOD while DO, COD, and TSS parameters are still unknown due to RMSE. In order to conduct the study, a 5-segment, 5-point water quality sample was taken. Based on the results of WASP-based water quality modeling, it can be concluded that while DO, COD, and TSS parameters have not yet been identified due to RMSE values that are significantly below the necessary minimum values, WASPs can accurately reflect BOD. The delayed component for the BOD parameter is 2.934.85 kg/day or 29.34 tons/day based on several modeling scenarios used to determine the amount of pollution load that reaches the Jeneberang River body. According to simulation results from trial and error scenario 3, the total maximum daily load (TMDL) for BOD parameters is 1.172.77 kg/day, or 11.73 tons/day, in order to meet the quality level of class II.

Keywords: TMDL, water quality, index pollution method

DAFTAR ISI

	<u>Halaman</u>
HALAMAN JUDUL	i
PENGAJUAN TESIS	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Ruang Lingkup Penelitian.....	5
1.6 Sistematika Penulisan	6
BAB II.....	8
TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1 Penelitian Terdahulu	8
2.2 Sungai	14
2.2.1 Daerah Aliran Sungai.....	14
2.3 Gambaran Umum Sungai Jeneberang.....	16
2.4 Pencemaran Air Sungai	18
2.4.1 Sumber Pencemar	18
2.4.2 Faktor Emisi Beban Pencemar	19
2.5 Standar Baku Mutu Air.....	20
2.6 Parameter Indikator Pencemaran	23
2.7 Pencampuran dan Pengenceran.....	26
2.8 <i>Self Purification</i>	27
2.9 Daya Tampung Beban Pencemaran	28

2.10	Pemodelan Water Analysis Simulation Program (WASP)	30
2.11	Kerangka Pikir Penelitian	32
BAB III		33
METODOLOGI PENELITIAN		33
3.1	Rancangan Penelitian.....	33
3.1.1	Variabel Bebas (Independent Variable)	34
3.1.2	Variabel Terikat (<i>Dependent Variable</i>)	34
3.2	Waktu Dan Lokasi Penelitian	34
3.2.1	Waktu Penelitian	34
3.2.2	Lokasi Penelitian.....	35
3.3	Bahan Dan Alat.....	36
3.3.1	Bahan	37
3.3.2	Alat.....	37
3.4	Populasi Dan Sampel	37
3.4.1	Populasi.....	37
3.4.2	Sampel.....	37
3.5	Teknik Pengumpulan Data.....	37
3.5.1	Data Primer	38
3.5.2	Data Sekunder	38
3.6	Pelaksanaan Penelitian.....	38
3.6.1	Observasi Lapangan	39
3.6.2	Pengambilan Sampel.....	39
3.6.3	Penentuan Status Mutu Air	42
3.6.4	Analisis Perhitungan Beban Pencemar	43
3.6.5	Pemodelan Kualitas Air dengan Menggunakan WASP.....	48
3.7	Kalibrasi dan Validasi Model	50
3.8	Analisis Simulasi Daya Tampung Beban Pencemar (DTBP).....	51
3.9	Perhitungan Daya Tampung Beban Pencemar (DTBP).....	52
3.10	Diagram Alir Penelitian	53
BAB IV		54
HASIL DAN PEMBAHASAN.....		54
4.1	Segmentasi Sungai Jeneberang Hilir	54
4.2	Kondisi Eksisting Sungai Jeneberang Hilir	59

4.2.1 Data Hidrolik Sungai Jeneberang Hilir	59
4.2.2 Kualitas Air Sungai Jeneberang Hilir	61
4.2.3 Penentuan Status Mutu dengan Metode Indeks Pencemaran.....	68
4.3 Identifikasi Potensi Beban Pencemaran Sungai Jeneberang Hilir	70
4.3.1 Beban Pencemaran dari <i>Non-Point Source</i> (NPS).....	71
4.3.2 Beban Pencemaran dari <i>Point Source</i> (PS).....	77
4.4 Total Potensi Beban Pencemar	78
4.4.1 Beban Pencemar BOD	78
4.4.2 Beban Pencemar COD	79
4.4.3 Beban Pencemar TSS.....	80
4.5 Model dan Kalibrasi WASP	82
4.5.1 Hasil Kalibrasi Model	85
4.6 Simulasi Kualitas Air.....	90
4.6.1 Skenario 1	90
4.6.2 Skenario 2	93
4.6.3 Skenario 3	94
4.7 Daya Tampung Beban Pencemaran di Sungai Jeneberang Hilir	95
BAB V	98
KESIMPULAN DAN SARAN.....	98
5.1 Kesimpulan	98
5.2 Saran	98
DAFTAR PUSTAKA.....	100
LAMPIRAN	104

DAFTAR GAMBAR

	<u>Halaman</u>
Gambar 1 Daerah aliran sungai (Naharuddin dkk, 2018).....	15
Gambar 2 Peta penggunaan lahan DAS Jeneberang (Indonesia Geospasial, 2019)	16
Gambar 3 Ilustrasi sumber pencemar <i>point source</i> dan <i>non-point source</i> menyebarkan dalam sungai.....	19
Gambar 4 Profil pengenceran pencemaran dari titik saluran pembuangan limbah	27
Gambar 5 Penetapan Daya Tampung Beban Pencemaran	30
Gambar 6 Model network dengan jalur transport advectif, (atas) visualisasi penampang samping, (bawah) visualisasi dalam bentuk diagram alir (Sumber: Ambrose et al., 2009).....	31
Gambar 7 Kerangka pikir penelitian	33
Gambar 8 Lokasi Penelitian	35
Gambar 9 Titik pengambilan contoh air sungai (SNI 6989.57-2008).....	41
Gambar 10 Bagan alir penggunaan pemodelan WASP.....	50
Gambar 11 Diagram Alir Penelitian.....	53
Gambar 12 Pembagian segmen Sungai Jeneberang bagian Hilir.....	54
Gambar 13 Peta Segmentasi dan <i>Sampling Point</i> Sungai Jeneberang bagian hilir	55
Gambar 14 Peta Segmen 1	56
Gambar 15 Peta Segmen 2	56
Gambar 16 Peta Segmen 3	57
Gambar 17 Peta Segmen 4	58
Gambar 18 Peta Segmen 5	58
Gambar 19 Pengukuran debit eksisting Sungai Jeneberang bagian hilir pada bulan November 2022.....	60
Gambar 20 Grafik Analisa kualitas air parameter suhu Sungai Jeneberang bagian hilir.....	62

Gambar 21 Grafik analisa kualitas air parameter PH Sungai Jeneberang bagian hilir	63
Gambar 22 Grafik Analisa kualitas air parameter DO di Sungai Jeneberang bagian hilir	64
Gambar 23 Grafik Analisa kualitas air parameter BOD Sungai Jeneberang bagian hilir	65
Gambar 24 Grafik Analisa kualitas air parameter COD di Sungai Jeneberang bagian hilir	66
Gambar 25 Grafik Analisa kualitas air parameter TSS di Sungai Jeneberang bagian hilir	67
Gambar 26 Sebaran indeks pencemaran di Sungai Jeneberang bagian hilir	69
Gambar 27 Peta Penggunaan lahan di sekitar Sungai Jeneberang bagian hilir ...	70
Gambar 28 <i>Catcment area</i> pada Segmen 2	72
Gambar 29 Persentase sumber pencemar BOD di lokasi penelitian	79
Gambar 30 Persentase sumber pencemar COD di lokasi penelitian	80
Gambar 31 Persentase sumber pencemar TSS di lokasi penelitian.....	81
Gambar 32 Grafik hasil model parameter DO	83
Gambar 33 Grafik hasil model parameter BOD.....	84
Gambar 34 Grafik hasil model parameter COD.....	84
Gambar 35 Grafik hasil model parameter TSS	85
Gambar 36 Hasil kalibrasi DO pengukuran dan DO model.....	86
Gambar 37 Hasil Kalibrasi BOD pengukuran dan BOD model	88
Gambar 38 Hasil kalibrasi COD pengukuran dan COD model	89
Gambar 39 Hasil kalibrasi antara TSS pengukuran dan TSS model.....	90
Gambar 40 Hasil simulasi skenario 1 untuk DO	91
Gambar 41 Hasil simulasi skenario 1 untuk BOD	91
Gambar 42 Hasil simulasi skenario 1 untuk COD	92
Gambar 43 Hasil simulasi skenario 1 untuk TSS.....	92
Gambar 44 Hasil simulasi 2 untuk BOD.....	94
Gambar 45 Hasil skenario 3 untuk BOD.....	95

DAFTAR TABEL

	<u>Halaman</u>
Tabel 1 Penelitian Terdahulu	
Tabel 2 Penggunaan Lahan DAS Jeneberang	17
Tabel 3 Klasifikasi Sumber Pencemar Air	18
Tabel 4 Kriteria Baku Mutu Air Sungai	21
Tabel 5 Klasifikasi Indeks Pencemaran	23
Tabel 6 Pembagian Titik Lokasi Pengambilan Sampel.....	36
Tabel 7 Data Sekunder yang akan digunakan	38
Tabel 8 Faktor Emisi Domestik Rumah Tangga	45
Tabel 9 Nilai Koefisien Transfer Beban (α).....	45
Tabel 10 Rasio Equivalen Kota.....	46
Tabel 11 Faktor Emisi Pertanian	46
Tabel 12 Faktor Emisi Penggunaan Lahan	47
Tabel 13 Faktor Emisi Industri Tahu Tempe	47
Tabel 14 Data Hidrolik Sungai Jeneberang Hilir	60
Tabel 15 Kondisi eksisting perairan Sungai Jeneberang bagian hilir pada bulan November 2022.....	61
Tabel 16 Perhitungan metode indeks pencemaran (IP).....	68
Tabel 17 Indeks Pencemaran Sungai Jeneberang Hilir	69
Tabel 18 Jumlah Penduduk dan presentasi wilayah tiap segmen Tahun 2021	71
Tabel 19 Hasil Perhitungan beban pencemaran dari aktivitas permukiman	74
Tabel 20 Hasil perhitungan beban pencemaran dari aktivitas pertanian.....	75
Tabel 21 Perhitungan Beban Pencemaran dari aktivitas industri kecil	76
Tabel 22 <i>Point Source</i> di sekitar Sungai Jeneberang bagian hilir.....	77
Tabel 23 Beban pencemaran dari aktivitas PDAM di sekitar Sungai Jeneberang bagian hilir	77
Tabel 24 Limbah BOD dari <i>non-point source</i> dan <i>point source</i>	78
Tabel 25 Limbah COD dari <i>non-point source</i> dan <i>point source</i>	80
Tabel 26 Limbah TSS dari <i>non-point source</i> dan <i>point source</i>	81
Tabel 27 Hidrolika Sungai Jeneberang bagian hilir	82

Tabel 28 Kalibrasi antara DO pengukuran dan DO model	86
Tabel 29 Kalibrasi antara BOD pengukuran dan BOD model.....	87
Tabel 30 Hasil kalibrasi antara COD pengukuran dan COD model	88
Tabel 31 Hasil kalibrasi antara TSS pengukuran dan TSS model	89
Tabel 32 Hasil perhitungan daya tampung beban pencemaran.....	96
Tabel 33 Hasil beban pencemar yang masuk ke badan Sungai Jeneberang hilir .	96

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengelolaan DAS berkelanjutan sangat penting karena melibatkan banyak aspek antropogenik dari penggunaan sumber daya alam. Dalam konteks kualitas air, kekritisitas DAS dapat dikurangi dengan menurunkan beban pencemar yang masuk ke badan air. Besarnya penurunan beban pencemaran ditentukan berdasarkan daya tampung lingkungan badan air terhadap beban pencemar (Abdi, dkk., 2010). Menurut PP RI No. 22 Tahun 2021 menyatakan bahwa beban pencemar adalah besarnya suatu pencemar yang masuk ke dalam air sedangkan daya tampung beban pencemar yaitu kemampuan air dalam menerima beban pencemar tanpa terjadi pencemaran. Salah satu cara untuk mengelola kualitas air adalah mengendalikan pencemaran air. Hal ini dicapai dengan memelihara fungsi air sehingga kualitas air terjaga sesuai dengan baku mutu yang telah ditetapkan. Air yang tidak dapat digunakan sesuai dengan peruntukannya dapat dianggap sebagai indikator kondisi air yang tercemar (KLHK, 2018). Pengambilan air untuk memenuhi kebutuhan manusia perlu untuk diperhatikan agar tidak mengganggu keseimbangan lingkungan. Faktor yang perlu diperhatikan tidak hanya mengenai volume air yang diambil namun juga menjaga kualitas air lingkungan agar tidak menyimpang dari keadaan normal.

Sungai Jeneberang merupakan salah satu sungai terbesar di Sulawesi Selatan. Sungai Jeneberang mengalir dari timur ke barat dari Gunung Bawakaraeng (2.833 mdpl) dan Gunung Lompobattang (2.876 mdpl) menuju Selat Makassar dengan panjang kurang lebih 80 km (DKPLHD Kabupaten Gowa, 2019). Sungai Jeneberang memiliki banyak peruntukan mulai dari dukungan sumber daya air, pertanian, perkebunan, domestik hingga industri. Adanya variasi penggunaan lahan ini, menyebabkan mutu kualitas air sungai menurun.

Pencemaran Sungai Jeneberang yang terjadi merupakan proses yang kompleks sebagai representasi dampak dari interaksi antara zat pencemar, hidrogeomorfologi sungai dan aktivitas manusia. Sumber pencemar dari Sungai

Jeneberang bagian hilir berasal dari limbah domestik, aktivitas perdagangan dan jasa, limbah industri kecil seperti industri tahu dan tempe, serta limpasan perkotaan. Selain itu, penggunaan lahan yang tidak seimbang yang tidak memperhatikan kondisi alam dan kestabilan aliran sungai.

Berdasarkan data hasil monitoring kualitas air sungai ONLIMO KLHK pada bulan Juli tahun 2022, menunjukkan bahwa Sungai Jeneberang bagian hilir telah tercemar ringan hingga tercemar sedang dengan nilai IP untuk parameter BOD antara 1 sampai dengan 7. Hasil pemantauan kualitas air yang dilakukan pada penelitian-penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa beberapa titik di Sungai Jeneberang telah tercemar ringan. Diantaranya Thamrin (2018) melakukan penelitian kualitas air Sungai Jeneberang dengan metode Indeks Pencemar dan memperoleh nilai Pollutan Index (PI) 6,8 yang artinya air Sungai Jeneberang dinyatakan telah tercemar sedang. Penelitian yang telah dilakukan oleh Lestari (2021) di Sungai Jeneberang memperlihatkan nilai BOD dan COD yang meningkat dari hulu ke hilir.

Salah satu strategi yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan pemodelan kualitas air Sungai Jeneberang bagian hilir dengan menganalisis beban pencemar yang masuk ke dalam badan sungai untuk menetapkan daya tampung beban pencemaran. Hasil dari pemodelan beban pencemar tersebut akan dilakukan berbagai skenario pencemaran sebagai bentuk pengelolaan dampak lingkungan dan dapat memberikan informasi dasar dan dukungan teknik bagi instansi pemerintahan yang mengelola lingkungan untuk membuat keputusan yang tepat. Simulasi dari berbagai jenis skenario akan mendapatkan total beban pencemaran sungai yang apabila masuk lebih besar dibandingkan kapasitas beban suatu perairan, akan menunjukkan daya tampung beban pencemaran telah terlampaui.

Terdapat berbagai macam model kualitas air yang telah dikembangkan, seperti SWAT, WASP, QUALs, MIKE 11< CE-QUAL-W2, EFDC, HSPF, dan lain-lain. Seluruh model tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan untuk situasi tertentu. Model WASP 8.4 (*Water Quality Analysis Program* versi 8.4) merupakan pemodelan yang menafsirkan dan memprediksi respon kualitas air terhadap fenomena alam dan pencemaran air pada air permukaan (Amborse, 2009). Proses

dari transportasi, pemuatan, dan transformasi disimulasikan menggunakan disperse, adveksi dan transformasi kinetik pada WASP. WASP adalah salah satu dari beberapa model kualitas air yang merupakan software terbaru yang didesain agar mampu mengatasi keterbatasan metode neraca massa dalam penetapan daya tampung beban pencemaran. Selain itu, model mampu untuk menganalisa dan memprediksi beban pencemar yang berasal dari fenomena alam maupun polutan yang dibuat oleh manusia dalam berbagai macam penentuan manajemen polusi air (Anggraeni, 2022).

Pemodelan WASP telah dikembangkan untuk berbagai kajian diantaranya Mbowongo J dkk (2018) melakukan pemodelan menggunakan WASP 7 untuk mensimulasikan dinamika nutrisi, DO dan klorofil-a di DAS Shenandoah dengan melakukan analisis ketidakpastian untuk menguji kompleksitas variabel-variabel tersebut dalam estimasi kualitas air dan pengaruhnya terhadap Sungai Shenandoah. Larico dan Marina (2019) melakukan penelitian dengan memodelkan kualitas air chlorophyll-a, BOD, NH₃, NO₃ dan PO₄ untuk kontrol eutrofikasi di Waduk el Pane menggunakan WASP 8 yang dimana dapat merepresentasikan hasil realita sehingga dapat membantu dalam membuat keputusan. Sedangkan untuk di Indonesia sendiri WASP telah digunakan dalam berbagai penelitian diantaranya Diansyukma dkk (2021) menggunakan model WASP untuk mengidentifikasi daya tampung beban pencemar parameter BOD di sub-DAS Karang Mumus, Samarinda. Pratama (2021) menggunakan program WASP untuk memodelkan distribusi oksigen terlarut dan COD pada debit andalan minimum dan maksimum untuk memilih simulasi reduksi limbah *point source* dan *non-point source* di Sungai Cikakembang. Anggraeni (2022) menggunakan model WASP untuk mengidentifikasi daya tampung beban pencemar dan kapasitas asimiliasi di Sungai Landak bagian Hilir di Pontianak, Kalimantan Barat.

Melihat kebutuhan informasi untuk pengendalian pencemaran di Sungai Jeneberang bagian hilir, maka perlu untuk dilakukan pemodelan terkait besar beban pencemaran dan daya tampung beban pencemaran (DTBP) menggunakan program WASP dengan parameter pencemar *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Dissolved Oxygen* (DO) dan *Total Suspended Solid* (TSS)

untuk menghasilkan alternatif usaha pengendalian pencemaran dan pengelolaan kualitas air di Sungai Jeneberang bagian hilir. Analisis resiko dapat dilakukan dengan pengurangan beban pencemar dari setiap sektor yang menghasilkan limbah dari *non-point source*. Tujuan dari skenario sendiri adalah untuk menurunkan konsentrasi parameter pencemaran di Sungai Jeneberang hilir sesuai dengan baku mutu peruntukannya dan mempertahankan konsentrasi air permukaan sepanjang waktu yang ditentukan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang pada uraian di atas, maka permasalahan yang dapat dirumuskan pada penelitian ini, adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana kondisi kualitas air di Sungai Jeneberang hilir?
2. Bagaimana hasil simulasi kualitas air di Sungai Jeneberang hilir setelah dilakukan pemodelan dengan *software* WASP?
3. Berapa besar beban pencemaran dan daya tampung beban pencemar di Sungai Jeneberang hilir dalam menerima beban pencemar pada saat dilakukan berbagai skenario simulasi pengurangan beban pencemar *point source* dan *non-point source*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang diuraikan, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis hasil kualitas air di Sungai Jeneberang bagian hilir berdasarkan parameter suhu, pH, DO, BOD, COD dan TSS.
2. Menganalisis hasil simulasi pemodelan kualitas air di Sungai Jeneberang hilir.
3. Menganalisis besaran jumlah beban pencemar dan daya tampung beban pencemar yang masuk ke badan Sungai Jeneberang bagian hilir.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Bagi Peneliti:

Sebagai syarat untuk menyelesaikan studi dan memperoleh gelar Magister di Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, serta menjadi pengembangan ilmu yang telah didapatkan dan berguna jika ingin melakukan penelitian lebih lanjut terkait pemodelan daya tampung beban pencemaran air sungai.

2. Bagi Pemerintah:

Sebagai alternatif penyusunan kebijakan untuk bahan pertimbangan strategi pengelolaan dan pengendalian pencemaran Sungai Jeneberang.

3. Bagi Masyarakat:

Sebagai informasi dan bahan edukasi kepada masyarakat tentang kualitas air Sungai Jeneberang dan pengelolaannya.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup pada penelitian ini dibatasi pada:

1. Wilayah studi penelitian dilakukan di sepanjang aliran DAS Sungai Jeneberang bagian hilir sepanjang 29,51 km yang mengalir melewati Kabupaten Gowa, Kabupaten Takalar dan Kota Makassar. Penentuan pembagian segmen wilayah lokasi pengambilan sampel berdasarkan akses pengambilan sampel dan area sumber pencemaran yang dianggap mewakili setiap *point source* dan *non-source point* yang menghasilkan bertambahnya beban pencemaran yang masuk ke badan Sungai Jeneberang.
2. Pengambilan sampel air Sungai Jeneberang bagian hilir dilakukan dengan teknik *purposive sampling* dengan tiga kali ulangan (*triplo*).
3. Parameter kualitas air yang diukur adalah pH, suhu, DO, BOD, COD, dan TSS.
4. Data kualitas air sungai merupakan data primer dengan pengukuran langsung di lapangan, sedangkan data lainnya seperti jumlah penduduk, luas lahan, data meteorologi, debit limbah dan data jumlah industri merupakan data sekunder.
5. Analisis kualitas air (DO, BOD, TSS) dilakukan skala laboratorium di Laboratorium Kualitas Air, Departemen Teknik Lingkungan, Universitas Hasanuddin. Analisis kualitas air untuk parameter COD dilakukan skala

laboratorium di Laboratorium Produktivitas dan Kualitas Perairan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin.

6. Hasil analisa kualitas air dibandingkan dengan PP No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
7. Penentuan status mutu air Sungai Jeneberang bagian hilir menggunakan metode indeks pencemaran (IP).
8. Penentuan daya tampung beban pencemar di Sungai Jeneberang Hilir menggunakan *software* WASP 8.4, dengan cara membandingkan perhitungan beban pencemaran sungai dengan kelas sungai berdasarkan lampiran PP No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
9. Sumber polutan berasal dari *point source* (PDAM) dan *non-source point* (domestik, pertanian dan perkebunan, industri skala kecil/industri tahu tempe) yang dihasilkan oleh sumber pencemar di sepanjang aliran Sungai Jeneberang.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan merupakan penjabaran secara deskriptif mengenai hal-hal yang akan ditulis. Sistematika penulisan dalam tesis ini akan memberikan gambaran secara singkat terhadap kegiatan penelitian dan penyusunan tesis, yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menyajikan informasi tentang latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan, manfaat, dan ruang lingkup serta sistematika penulisan penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memberikan informasi mengenai uraian dan pengertian, teori-teori dari berbagai literatur yang menjadi dasar atau acuan penelitian.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menguraikan metode pelaksanaan penelitian diantaranya rancangan penelitian, penentuan lokasi penelitian, waktu pelaksanaan,

bahan dan alat yang akan digunakan, populasi dan sampel, teknik pengumpulan data, teknik analisis data, dan diagram alir penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menguraikan data hasil penelitian yang merujuk pada rumusan masalah dan tujuan penelitian. Data hasil penelitian merupakan data primer dan data hasil analisis yang dilanjutkan dengan pembahasan yang mengandung jawaban akan setiap masalah penelitian atau menunjukkan bagaimana tujuan dan menafsirkan segala temuan penelitian.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menyajikan kesimpulan yang berkaitan langsung dengan penelitian yang dapat ditarik dari pembahasan yang relevan dan merangkum semua hasil penelitian yang telah diuraikan. Selain kesimpulan, bab ini menyajikan saran yang bersumber pada temuan penelitian, pembahasan dan kesimpulan hasil penelitian. Saran dapat ditujukan atau direkomendasikan kepada perguruan tinggi, Lembaga pemerintahan atau swasta ataupun pihak lain yang dianggap layak.

DAFTAR PUSTAKA DAN LAMPIRAN

Bagian akhir laporan penelitian adalah daftar pustaka dan lampiran. Daftar pustaka memuat semua bahan bacaan yang dirujuk dalam penulisan laporan penelitian dan hanya mencantumkan pustaka yang dirujuk. Sedangkan lampiran berisi keterangan yang dipandang penting seperti rumus statistika dan foto-foto pelaksanaan penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Untuk mencapai originalitas dalam upaya mengisi celah ilmu pengetahuan, maka diperlukan beberapa *review* penelitian terdahulu yang relevan berkaitan dengan tema Pemodelan Daya Tampung Beban Pencemaran di Sungai Jeneberang bagian hilir:

Tabel 1 Penelitian Terdahulu

NO.	ARTIKEL	POKOK PERSOALAN	OUTPUT	OUTCOME	PERSAMAAN	PERBEDAAN
1.	<i>Pollutant Load Capacity in the Barito River Basin (Nagara Sub-watershed, Marabahan Sub-watershed and Kuin Sub-Watershed) South Kalimantan Province</i> (Alpiannur, et al. 2022) Aquatic Vol 5 No. 1 (2022)	Banyaknya limbah yang masuk ke dalam badan sugai akibat dari berbagai aktiitas masyarakat seperti perikanan, pertanian, perkebunan, transportasi, industri, maupun domestik.	Hasil analisis IP, sungai Barito masuk kedalam kondisi baik sampai tercemar ringan dan untuk DTBP belum melampaui baku mutu kualitas air kelas III. Sehingga dapat dikatakan sungai Barito masih dapat menampung beban pencemar yang masuk berdasarkan baku mutu air kelas III PP No.22 Tahun 2021 peruntukan aktivitas budidaya ikan air tawar	Menghasilkan informasi kondisi dan status mutu dari Sungai Barito yang dapat dijadikan acuan sebagai strategi pengendalian pencemaran di Sungai Barito	<ul style="list-style-type: none"> • Analisis kualitas air sungai menggunakan metode Indeks Pencemaran • Perhitungan DTBP berdasarkan acuan epmen-LH No.110 Tahun 2003. 	<ul style="list-style-type: none"> • Lokasi penelitian • Sumber pencemar yang dihitung • Jumlah titik <i>sampling</i> • Tidak menggunakan pedolan WASP
2.	<i>Modeling of Pollution Load Capacity and Assimilative Capacity Using WASP Model</i>	Hasil pemantauan kualitas air yang dirilis oleh Balai Wilayah Sungai Kalimantan dari tahun 2017 hingga 2020,	Bedasarkan hasil analisis DTBP maka diperoleh beban maksimal BOD yang diperbolehkan untuk dibuang ke Sungai Landa	Menghasilkan alternatif usaha pengendalian pencemaran dan pengelolaan kualitas air di	<ul style="list-style-type: none"> • Penelitian ini melakukan analisis kualitas air menggunakan metode indeks pencemaran 	<ul style="list-style-type: none"> • Lokasi penelitian • Jumlah titik <i>sampling</i> yang digunakan

Lanjutan Tabel 1

NO.	ARTIKEL	POKOK PERSOALAN	OUTPUT	OUTCOME	PERSAMAAN	PERBEDAAN
	(<i>ACase Study: Downstream Landak River</i>) Anggraeni, ACA (2022) ITB	beberapa titik di Sungai Landak belum dapat memenuhi baku mutu air yang telah ditetapkan dengan status tercemar ringan berdasarkan indeks pencemaran.	hilir adalah 152.159 kg/hari atau 152.15 ton/hari sedangkan beban maksimal COD yang diperbolehkan untuk dibuang ke Sungai Landak hilir adalah 1.003.768 kg/hari atau 1003.76 ton/hari.	Sungai Landak bagian hilir.	<ul style="list-style-type: none"> Melakukan perhitungan beban pencemaran Menggunakan pemodelan WASP untuk memodelkan kualitas air dan daya tampung beban pencemaran. 	<ul style="list-style-type: none"> Sumber beban pencemara n yang dihitung Parameter kualitas air yang dihitung
3.	<i>Pollution load capacity in the Downstream Citarum Watershed: 4 years after Citarum Harum Program</i> (Permatasari, et al. 2022) http://dx.doi.org/10.29244/jpsl.12.4.706-719 Journal of Natural Resources and Environmental Management 12(4): 706-719 E-ISSN: 2460-5824	Program "Citarum Harum" untuk menghidupkan kembali sungai sambil meningkatkan reputasi sungai Citarum sebagai salah satu sungai paling kotor di dunia. Studi ini bertujuan untuk melihat kapasitas beban polusi sungai Citarum bawah air 4 tahun setelah program revitalisasi dilaksanakan. Downstream Citarum Watershed (Karawang Regency) dipilih sebagai fokus situs penelitian karena risiko kontaminasi yang sangat tinggi.	Penelitian ini membandingkan kapasitas beban polusi permintaan oksigen biokimia (BOD) pada tahun 2022 menggunakan perangkat lunak QUAL2Kw dan 2017 berdasarkan data yang dianalisis oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Hutan.	Studi ini diharapkan akan memberikan informasi terkini tentang kualitas air di dataran rendah Citarum beberapa tahun setelah revitalisasi dan memberikan gambaran tentang fungsi penting dari revitalisasi sungai	<ul style="list-style-type: none"> Perhitungan DTBP untuk parameter BOD 	<ul style="list-style-type: none"> Lokasi penelitian Jumlah titik <i>sampling</i> Pemodelan yang digunakan pada penelitian ini adalah Qual2Kw Parameter kualitas air yang diukur

Lanjutan Tabel 1

NO.	ARTIKEL	POKOK PERSOALAN	OUTPUT	OUTCOME	PERSAMAAN	PERBEDAAN
4	<p>Pemodelan <i>Dissolved Oxygen Chemical Demand</i> Pada Sungai Cikakembang menggunakan <i>Water Quality Analysis Simulation Program (WASP)</i></p> <p>Adha Nur Kholif Pratama (2021)</p> <p>ITB</p>	<p>Sungai Cikakembang merupakan salah satu anak Sungai Citarum yang sumber pencemarnya didominasi oleh limbah industri. Hampir 40% industri yang berbeda di wilayah Majalaya</p>	<p>Hasil pemodelan WASP yang dihasilkan mampu mendekati kondisi real lapangan pada tiap segmen Sungai parameter debit DO, BOD, COD berturut-turut 0.11, 0.53, 3.56,</p>	<p>Bermanfaat untuk bahan acuan dan pertimbangan dalam strategi penanganan dan pengendalian pencemaran Sungai Cikakembang bagi Pemerintah</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Analisis kualitas air yang dilakukan • Pemodelan kualitas air yang digunakan adalah WASP 	<ul style="list-style-type: none"> • Lokasi penelitian • Parameter fokus yang diukur • Indikator yang mempengaruhi kualitas air Tidak menghitung beban pencemar dan daya tampung beban pencemar di sungai.
5.	<p>Analisis Beban Pencemaran Di Sungai Jeneberang Kabupaten Gowa Provinsi Sulawesi Selatan</p> <p>(Lestari, dkk, 2021)</p> <p>https://doi.org/10.24252/teknosains.v15i2.17715</p> <p>TEKNOSAINS Vol. 15No. 2 (2021): Mei-Agustus</p>	<p>Jurnal ini membahas mengenai kualitas air di Sungai Jeneberang yang mengalami perubahan akibat pencemaran lingkungan. Hal ini ditunjukkan dengan menurunnya kualitas air hingga level tertentu yang menyebabkan air tidak sesuai dengan peruntukannya</p>	<p>Kualitas air Sungai Jeneberang di wilayah penelitian secara umum telah melebihi baku mutu air Kelas I untuk parameter BOD dan COD, sedangkan untuk parameter TSS masih memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan. Beban pencemaran BOD dan COD tertinggi terjadi di titik J5 yaitu sebesar 4.707,28 kg/hari</p>	<p>Untuk memperbaiki irigasi pertanian, pembangkit listrik dan juga sumber air baku untuk air minum.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Lokasi penelitian: Sungai Jeneberang • Analisis kualitas air • Parameter kualitas air yang diukur 	<ul style="list-style-type: none"> • Titik pengambilan sampel • Panjang sungai yang diukur • Penelitian ini tidak menghitung indeks pencemaran untuk analisis kualitas air sungai.

Lanjutan Tabel 1

NO.	ARTIKEL	POKOK PERSOALAN	OUTPUT	OUTCOME	PERSAMAAN	PERBEDAAN
6.	<i>Water quality characteristics and modeling of Tasik Aman, USM Penang</i> (Munirah, et al, 2020) doi:10.1088/1755-1315/711/1/012006 The 10th AIC-ELS 2020 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 711 (2021) 012006	Tasik Aman dibangun pada tahun 1990 sebagai kolam retensi banjir di Universitas Sains. Kampus Utama, Penang, Malaysia Tasik Aman telah mengalami akumulasi kelebihan nutrisi dari daerah sekitarnya terutama dari Sungai Gambir, menyebabkan alga tinggi populasi dalam tubuh air.	Berdasarkan analisis WASP, simulasi Grafik yang dihasilkan untuk Tasik Aman menunjukkan penurunan DO dan peningkatan BOD yang mengindikasikan bahwa danau mengandung kandungan nutrisi tinggi yang dapat memperburuk eutrofikasi.	melakukan penentuan kualitas air saat ini dari Tasik Aman, untuk memprediksi kondisi kualitas air di masa depan dan danau Empat situs ditunjuk untuk melakukan analisis kualitas air yang terdiri dari air suhu, oksigen terlarut (DO), pH, transparansi, (BOD), TSS, konduktivitas, orthophosphate, klorofil- a, total fosfor, amonia, nitrit dan nitrat	<ul style="list-style-type: none"> Analisis kualitas air yang digunakan Pemodelan kualitas air yang digunakan adalah WASP 	<ul style="list-style-type: none"> Lokasi penelitian Parameter kualitas air yang diukur Jumlah titik sampling Pada penelitian ini dilakuakn pada sebuah danau, sedangkan pada penelitian yang dilakukan pada sungai
7.	<i>Analysis of the Carrying Capacity and the Total Maximum Daily Loads of the Karang Mumus Sub-watershed in Samarinda City Using the WASP Method</i> (Diansyukma, et al, 2020)	Sungai Karang Mumus adalah sebuah ekosistem Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) yang melintasi Kota Samarinda yang berfungsi sebagai sumber perairan dalam pemenuhan kebutuhan, sarana penunjang utama dalam mendukung roda perekonomian dan aktivitas kehidupan serta	Alokasi tiap-tiap segmen berbeda beda dimana segmen 2, 3 dan 4 harus dilakukan pengurangan beban pencemar berturut-turut sebesar 390 kg/hari, 220 kg/hari dan 10 kg/hari, sedangkan Segmen dan 5 masih mampu menerima beban pencemar masing-masing sebesar 1.740	Untuk mengkaji ulang status pencemaran Sungai Karang Mumus dan melakukan kajian silang status pencemaran dengan mengetahui besaran beban pencemaran yang terjadi, Daya Tampung Beban Pencemaran (DTBP) serta alokasi beban	<ul style="list-style-type: none"> Analisis dalam perhitungan daya tampung beban pencemaran 	<ul style="list-style-type: none"> Lokasi penelitian Parameter kualitas air yang diukur Pengulangan dalam pengambilan sampel kualitas air. Jumlah titik pengambilan sampel

Lanjutan Tabel 1

NO.	ARTIKEL	POKOK PERSOALAN	OUTPUT	OUTCOME	PERSAMAAN	PERBEDAAN
	DOI 10.22146/jce f.62826 Journal of the Civil Engineering Forum, May2021, 7(2): 209- 222	fungsi sanitasi bagi masyarakat disekitarnya sehingga limbah yang dihasilkan akan berpotensi menimbulkan penurunan pada kualitas air sungai.	kg/hari dan 945 kg/hari. Pengkajian silang antara status PI dan simulasi WASP menunjukkan hasil yang kurang sejalan satu sama lain.	pencemar pada badan sungai.		
8.	<i>Pollution load capacity of Batang Kuranji River,</i> Padang City (Azhar, et al. 2019) doi:10.1088/ 1755- 1315/314/1/0 12003 IOP Conf. Series: Earth and Environment al Science 314 (2019) 012003	Secara umum, sumber polusi pada sungai disebabkan oleh perkembangan dan kegiatan komunitas perkotaan seperti kegiatan domestik, industri, pertanian dan kegiatan lainnya. Begitu pula yang terjadi di Sungai Batang Kuranji.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa total Suspended Solid (TSS) terlihat dari atas ke bawah di area bagian 8, 10, 14 harus dikurangi beban polusi 648 kg / hari (bagian 8), 15,552 Kg / hari (10bagian) dan 22,032 Kg/hari (bagian 14), ini disebabkan oleh kegiatan ekonomi masyarakat di sektor pertanian, dalam bentuk ladang beras yang berdekatan langsung dengan sungai Batang Kuranji, kegiatan sektor peternakan, di mana masyarakat yang langsung membuang sisa- sisa makanan dibuang langsung ke sungai.	Kuranji saat ini di segmen Kota Padang, upaya kontrol diperlukan untuk pencemaran yang Berdasarkan hasil penelitian, dan dari kesimpulan yang diperoleh, yang dibuat untuk kontrol optimal adalah penerapan prinsip-prinsip spasial yang sehat secara lingkungan	<ul style="list-style-type: none"> • Analisis DTBP • Parameter yang diukur 	<ul style="list-style-type: none"> • Lokasi penelitian • Jumlah titik <i>sampling</i> • Pemodelan yang digunakan pada penelitian ini adalah Qual2Kw
9.	<i>Assessment of Water Quality Index and</i>	Peningkatan jumlah	hasil penelitian ini menunjukkan bahwa status	Penelitian ini memberikan informasi dan bimbingan	<ul style="list-style-type: none"> • Analisis status mutu air menggunakan 	<ul style="list-style-type: none"> • Lokasi penelitian

Lanjutan Tabel 1

NO.	ARTIKEL	POKOK PERSOALAN	OUTPUT	OUTCOME	PERSAMAAN	PERBEDAAN
	<i>Pollution Load</i>	penduduk di Banyuwangi Wilayah dan aktivitasnya	cemaran di Sungai	terkait status polusi dan kapasitas	metode indeks pencemaran	• Analysis data menggunakan model
	<i>Capacity in the Sukowidi River and Bendo River, Banyuwangi Region</i> (Rachmansyah, et al. 2021) DOI: 10.21776/ub.jpal.2021.012.01.01	memiliki potensi untuk menurunkan kualitas air sungai, terutama di Sukowidi dan Bendo, oleh karena itu perlu untuk menilai kualitas air.	Sukowidi adalah cemar ringan dan kapasitas daya tampung beban pencemar yang tinggi ada pada parameter TSS dan nitrat. Sementara untuk Sungai Bendo statusnya masih aman atau belum tercemar.	daya tampung beban pencemaran di Sungai Sukowidi dan Sungai Bendo		Qual2Kw dan dilakukan secara spasial Parameter kualitas air yang diukur
10.	Pemodelan Sebaran BOD Di Sungai Kapuas Kecil Bagian Hilir Menggunakan WASP (Purnaini, dkk. 2019) https://doi.org/10.22146/teknosains.34921	Tercemarnya Sungai Kapuas oleh limbah domestik permukiman dan aktivitas perdagangan dan jasa, limbah industri besar dan kecil serta limpasan perkotaan. Sungai Kapuas sebagai sumber utama air baku bagi PDAM dan peruntukan lainnya.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa buangan domestik dan non-domestik perkotaan yang masuk ke sungai sangat dominan mempengaruhi kualitas air sungai. Konsentrasi BOD di sungai pada saat musim kemarau lebih tinggi dibandingkan pada saat musim hujan baik pada kondisi pasang maupun surut.	Untuk memprediksi perubahan kualitas air akibat buangan yang masuk dari berbagai sumber pencemar terhadap konsentrasi BOD di Sungai Kapuas kecil menggunakan model WASP sebagai upaya pemantauan terhadap kualitas air dan pengendalian pencemaran air.	• Pemodelan yang digunakan adalah WASP	• Lokasi Penelitian • Parameter kualitas air yang diukur • Tidak melakukan analisis kualitas air menggunakan metode indeks pencemar.
	TEKNOSAINS Vol , No. 2 2019					

2.2 Sungai

Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 38 Tahun 2011 disebutkan bahwa sungai adalah alur atau wadah air alami dan/atau buatan berupa jaringan pengaliran air beserta air di dalamnya, mulai dari hulu sampai muara, dengan dibatasi kanan dan kiri oleh garis sempadan. Sungai terdiri dari bantaran sungai dan garis sempadan. Bantaran sungai adalah ruang antara tepi palung sungai dan kaki tanggul sebelah dalam yang terletak di kiri dan/atau kanan palung sungai. Palung berfungsi sebagai ruang wadar air mengalir dan sebagai tempat berlangsungnya kehidupan ekosistem sungai. Garis sempadan adalah garis maya di kiri dan kanan palung sungai yang ditetapkan sebagai batas perlindungan sungai. Garis sempadan berfungsi sebagai ruang penyangga antara ekosistem sungai dan daratan, agar fungsi sungai dan kegiatan manusia tidak saling terganggu.

2.2.1 Daerah Aliran Sungai

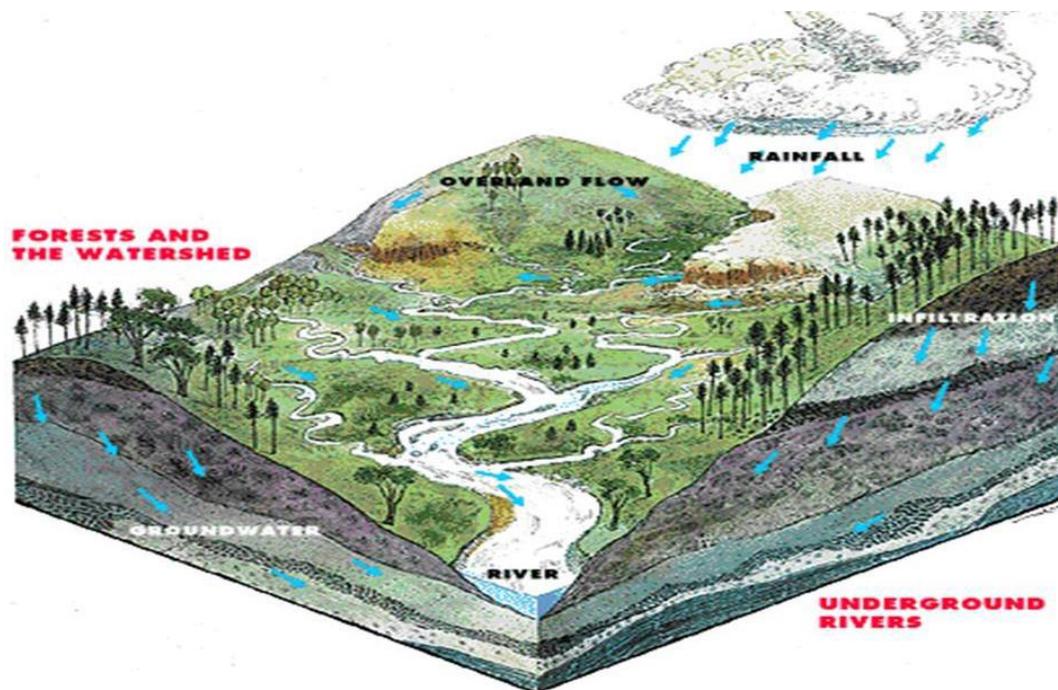
Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 37 Tahun 2012 tentang Pengelolaan DAS, Pasal 1, Daerah aliran sungai yang selanjutnya disebut DAS adalah suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya, yang berfungsi menampung, menyimpan dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau laut secara alami, yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruhi aktivitas daratan.

Menurut Chay Asdak (2010) DAS adalah suatu wilayah daratan yang secara topografik dibatasi oleh punggung-punggung gunung yang menampung dan menyimpan air hujan untuk kemudian menyalurkan ke laut melalui sungai utama. DAS (*watershed* atau *drainage basin*) adalah suatu area di permukaan bumi yang didalamnya terdapat sistem pengaliran yang terdiri dari satu sungai utama (*main stream*) dan beberapa anak cabangnya (*tributaries*), yang berfungsi sebagai daerah tangkapan air dan mengalirkan air melalui satu outlet.

Setiap DAS dibagi menjadi 3 bagian yaitu, bagian hulu, tengah dan hilir. Bagian hulu dicirikan memiliki kerapatan drainase yang lebih tinggi, dan topografinya lebih dari 15%, sedangkan pada bagian tengah, topografinya lebih

landai dan keeratan drainasenya berkurang. Dan pada bagian hilir merupakan dataran banjir dan topografinya sangat landau dengan kelerengan kurang dari 8% (Asdak, 2010).

Bagian hulu dikelola untuk mempertahankan kondisi lingkungan DAS agar tidak terdegradasi, yang antara lain dapat diindikasikan dari kondisi tutupan vegetasi lahan DAS, kualitas air, kemampuan menyimpan air (debit), dan curah hujan.



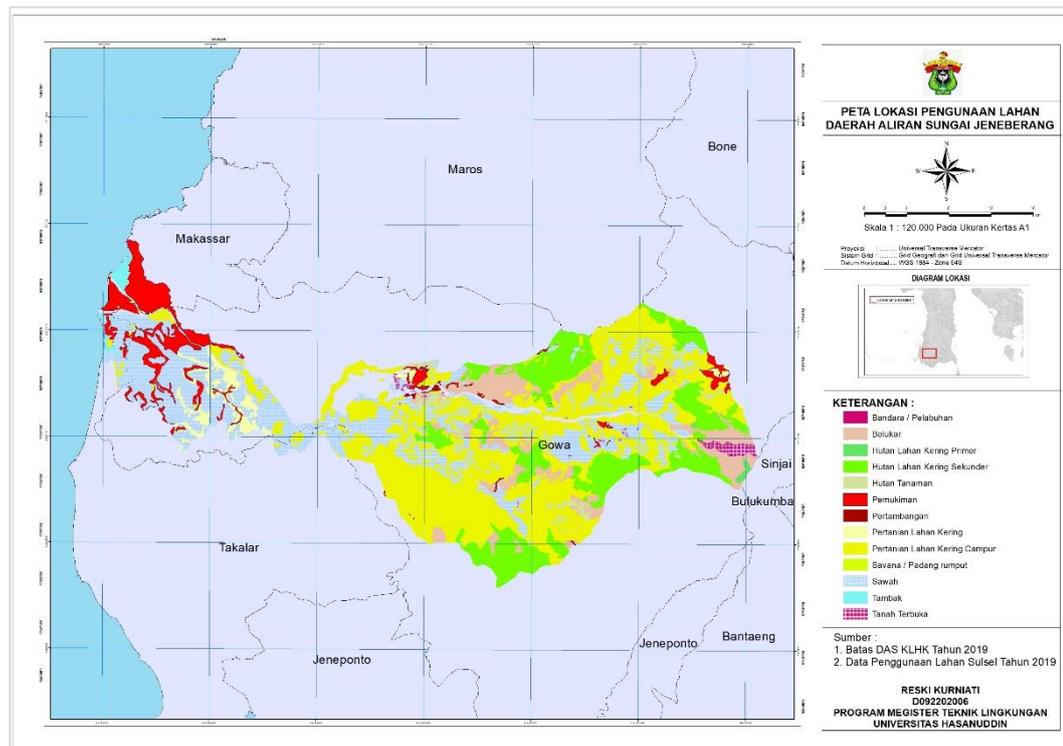
Gambar 1 Daerah aliran sungai (Naharuddin dkk, 2018)

Bagian tengah diperuntukkan untuk pemanfaatan air sungai yang dikelola untuk dapat memberikan manfaat bagi kepentingan sosial dan ekonomi, yang antara lain dapat diindikasikan dari kuantitas air, kualitas air, kemampuan menyalurkan air, dan ketinggian muka air tanah, serta terkait pada prasarana pengairan seperti pengelolaan sungai, waduk, dan danau. Bagian hilir dikelola untuk dapat memberikan manfaat bagi kepentingan sosial dan ekonomi, yang diindikasikan melalui kuantitas dan kualitas air, kemampuan menyalurkan air, ketinggian curah

hujan, dan terkait untuk kebutuhan pertanian, air bersih, serta pengelolaan air limbah (Asdak, 2010).

2.3 Gambaran Umum Sungai Jeneberang

Sungai Jeneberang adalah sungai yang terletak di Provinsi Sulawesi Selatan. Sungai Jeneberang merupakan sungai utama di Daerah Aliran Sungai (DAS). Secara geografis, DAS Jeneberang terletak pada $119^{\circ} 23' 50''$ BT - $119^{\circ} 23' 50''$ BT dan $05^{\circ} 10' 00''$ LS - $05^{\circ} 26' 00''$ LS. Jeneberang yang memiliki panjang kurang lebih 90 Km mengalir dari timur ke barat dari Gunung Bawakaraeng (2.833 mdpl) dan Gunung Lompobattang (2.876 mdpl) menuju Selat Makassar (DKPLHD Kab. Gowa, 2019).



Gambar 2 Peta penggunaan lahan DAS Jeneberang (Indonesia Geospasial, 2019)

Penggunaan lahan di DAS Jeneberang meliputi pertanian lahan kering, hutan, sawah, padang rumput, pertambangan, pemukiman, tambak, tanah terbuka dan badan air. Sebagian besar penggunaan lahan di DAS Jeneberang merupakan pertanian dan hutan yang tersebar di bagian hulu dan tengah DAS Jeneberang.

Sedangkan permukiman dan sawah mendominasi pada bagian barat mendekati hilir dari DAS Jeneberang.

Pengelolaan DAS Jeneberang berjalan sesuai dengan peraturan dan kebijakan pemerintah. Namun, masih terdapat berbagai masalah di DAS Jeneberang diantaranya terjadinya banjir, turunnya kualitas air akibat dari banyaknya aktivitas masyarakat, pertambangan dan lainnya yang membuang limbahnya ke Sungai Jeneberang, terjadinya alih fungsi lahan dari hutan menjadi permukiman ataupun pertanian dan sebagainya

Tabel 2 Penggunaan Lahan DAS Jeneberang

No.	Penggunaan Lahan	Luas (km²)	Persentase (%)
1.	Badan air	29,25	3,71
2.	Pelabuhan	0,07	0,01
3.	Belukar	63,06	7,99
4.	Hutan lahan kering primer	1,52	0,19
5.	Hutan lahan kesing sekunder	113,95	14,44
6.	Hutan tanaman	15,35	1,95
7.	Permukiman	31,92	4,05
8.	Pertambangan	1,13	0,14
9.	Pertanian lahan kering	23,07	2,92
10.	Pertanian lahan kering campur	308,17	39,06
11.	Padang rumput	0,05	0,01
12.	Sawah	191,54	24,28
13.	Tambak	4,52	0,57
14.	Tanah terbuka	5,34	0,68
	Total	788,92	100,00

Sumber: Indonesia Geospasial, 2019

2.4 Pencemaran Air Sungai

Pencemaran air adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi atau komponen lain kedalam air atau berubahnya tatanan air oleh kegiatan manusia atau oleh proses alam, sehingga kualitas air menurun sampai tingkat tertentu yang menyebabkan air berkurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai kegunaannya. Pencemaran air merupakan kondisi air yang telah menyimpang dari kondisi normal sebagai akibat masuknya bahan-bahan pencemar atau polutan. Dari rumusan tersebut dapat dikatakan bahwa pencemaran air adalah turunnya kualitas air karena masuknya komponen-komponen pencemar dari kegiatan manusia atau proses alami, sehingga air tersebut tidak memenuhi syarat atau bahkan mengganggu pemanfaatannya (Hindriani H, 2013).

2.4.1 Sumber Pencemar

Klasifikasi sumber pencemar berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 1 Tahun 2010 dapat di lihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Klasifikasi Sumber Pencemar Air

Karakteristik Limbah	Sumber Tertentu (Point Source)	Sumber Tak Tentu (Diffuse Source/Non-point Sources)
Limbah Domestik	Aliran limbah urban dalam sistem saluran dan sistem pembuangan limbah domestik terpadu	Aliran limbah daerah pemukiman di Indonesia pada umumnya
Limbah non-domestik	Aliran limbah industri, pertambangan	Aliran limbah pertanian, peternakan dan kegiatan usaha kecil-menengah

Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 01 Tahun 2010

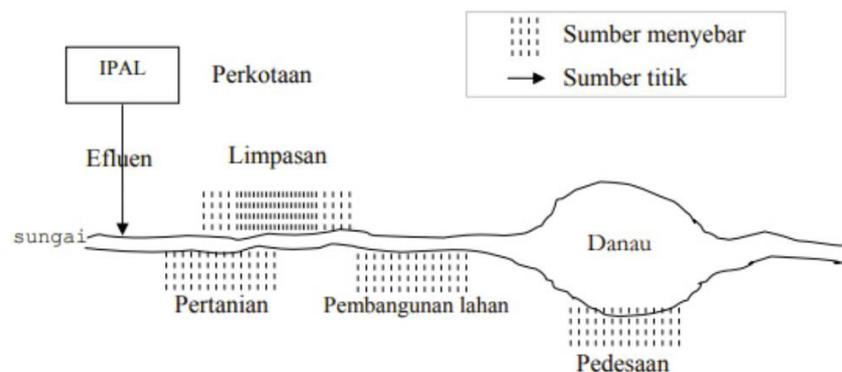
a. Sumber Pencemar Tertentu (*Point Source*)

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 1 Tahun 20210 tentang tata Laksana Pengendalian Air, *point source* adalah sumber-sumber pencemar air

secara geografis dapat ditentukan lokasinya dengan tepat. Sumber pencemar air berasal dari *point source* antara lain seperti kegiatan industri, pembuangan limbah domestik terpadu dan anak sungai. Data pencemaran air dari sumber tertentu biasanya diperoleh melalui pengukuran langsung dari efluen dan perpindahannya, atau melalui penggunaan metode untuk memperkirakan atau menghitung besar pencemaran air yang tergolong dalam data primer serta pengukuran yang dilakukan oleh instansi berwenang yang tergolong kedalam data sekunder.

b. Sumber Pencemar Tak Tentu (*Diffuse Source/Non-Source Point*)

Sumber pencemar tak tentu atau *non-point sources* adalah sumber-sumber pencemar air yang tidak dapat ditentukan lokasinya secara tepat, umumnya terdiri dari sumber-sumber individu yang relatif kecil. Limbah yang dihasilkan antara lain berasal dari kegiatan pertanian, peternakan, kegiatan domestik, industri menengah/kecil dan transportasi. Penentuan jumlah limbah yang dibuang ditentukan dengan menggunakan data statistik kegiatan yang menggambarkan aktivitas penghasil limbah.



Sumber : Astono, 2007

Gambar 3 Ilustrasi sumber pencemar *point source* dan *non-point source* menyebar dalam sungai

2.4.2 Faktor Emisi Beban Pencemar

Faktor Emisi Pencemar (FE) merupakan rata-rata statistik jumlah massa pencemar yang diemisikan oleh satuan aktivitas kegiatan seperti peternakan, pertanian, permukiman, dan lain-lain. Setiap sumber pencemar memiliki nilai FE

masing-masing. Perbedaan nilai ini disebabkan oleh nilai FE yang dihasilkan berdasarkan nilai potensi pencemar yang dikaitkan dengan penggunaan lahan sebagai potensi sumber pencemar non titik. Tujuan dari penggunaan faktor emisi (FE) yaitu untuk memperkirakan jumlah spesifik dari sumber pencemar tersebut. Setiap sumber pencemar memiliki kontribusi terhadap pencemaran berbeda-beda sehingga setiap kegiatan yang menghasilkan sumber pencemar non titik memiliki faktor emisi (FE) yang berbeda.

2.5 Standar Baku Mutu Air

Baku mutu air adalah ukuran batas atau kadar makhluk hidup, zat, energy, atau komponen yang ada atau harus ada dan/atau unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya di dalam air. Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup ditetapkan 4 kelas klasifikasi mutu air, yaitu:

- a. Kelas Satu, merupakan air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum, dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut;
- b. Kelas Dua, merupakan air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut;
- c. Kelas Tiga, merupakan air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, air untuk mengairi pertanaman, dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut;
- d. Kelas Empat, merupakan air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanaman dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Penentuan tingkat pencemaran pada air sungai memerlukan baku mutu yang jelas sebagai batasan maksimum nilai bagi setiap parameter fisika, kimia, maupun biologi air sungai. Di dalam Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang

Penyelenggaraan Perlindungan dan pengelolaan Lingkungan Hidup telah ditetapkan besaran nilai kriteria baku mutu air khususnya untuk nilai kriteria baku mutu air sungai untuk setiap kelas seperti pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4 Kriteria Baku Mutu Air Sungai

Parameter	Unit	Kelas			
		I	II	III	IV
FISIKA					
Temperatur	°C	Deviasi	Deviasi	Deviasi	Deviasi
		3	3	3	3
Lanjutan Tabel 4	mg/L	1000	1000	1000	5000
Residu Tersuspensi	mg/L	50	50	400	400
Kimia Anorganik					
pH	-	6-9	6-9	6-9	5-9
BOD₅	mg/L	2	3	6	12
COD	mg/L	10	25	50	100
DO	mg/L	6	4	3	0

Sumber: Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021

Setiap sungai memiliki karakteristik kualitas air tertentu yang perlu diperhitungkan seberapa baik atau buruknya mutu dari sungai tersebut. Berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 115 Tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air disebutkan bahwa, status mutu air adalah kondisi kualitas air yang diukur dan atau diuji berdasarkan parameter-parameter tertentu dan metoda tertentu berdasarkan peraturan perundang-undangan yang berlaku. Status mutu air adalah tingkat kondisi mutu air yang menunjukkan kondisi cemar atau kondisi baik pada suatu sumber air dalam waktu tertentu dengan membandingkan dengan baku mutu air yang ditetapkan. Penentuan status mutu air dapat menggunakan Metoda STORET atau Metode Indeks Pencemaran.

Metode *Pollutant Index* (PI) atau metode indeks pencemaran (IP) digunakan untuk menentukan tingkat pencemaran relatif terhadap parameter kualitas air yang diizinkan (Nemerow, 1974 dalam Yuliasuti, 2011). Indeks ini berkaitan dengan

senyawa pencemar yang bermakna untuk suatu peruntukan dan dapat dikembangkan untuk beberapa peruntukan bagi seluruh badan air atau sebagian dari suatu sungai. Metode ini dirumuskan sebagai berikut:

$$PI_j = \left(C_1/L_{1j}, C_2/L_{2j}, \dots \dots C_j/L_{ij} \right) \quad (1)$$

Keterangan:

- Baku Peruntukan Air (j), dan C_i menyatakan konsentrasi parameter kualitas air (i) yang diperoleh dari hasil analisis cuplikan air pada suatu lokasi pengambilan cuplikan dari suatu alur sungai, maka PI_j adalah Indeks Pencemaran bagi peruntukan (j) yang merupakan fungsi dari C_i/L_{ij} . Tiap nilai C_i/L_{ij} menunjukkan pencemaran relatif yang diakibatkan oleh parameter kualitas air.
- Nilai $C_i/L_{ij} = 1,0$ adalah nilai yang kritis, karena nilai ini diharapkan untuk dipenuhi bagi suatu Baku Mutu Peruntukan Air.
- Jika $C_i/L_{ij} > 1,0$ untuk suatu parameter, maka konsentrasi parameter ini harus dikurangi atau disisihkan, kalau badan air digunakan untuk peruntukan (j).

Penggunaan metode IP dalam menentukan kerusakan badan air akan menemui kesulitan manakala timbul keraguan pada dua nilai C_i/L_{ij} yang berdekatan dengan nilai acuan 1, misal $C_1/L_{1j} = 0,9$ dan $C_2/L_{2j} = 1,1$ atau perbedaan nilai yang sangat besar, misal $C_3/L_{3j} = 5,0$ dan $C_4/L_{4j} = 10$, maka cara untuk mengatasinya adalah:

- Apabila nilai C_i/L_{ij} hasil pengukuran kurang dari 1 maka digunakan nilai C_i/L_{ij} hasil pengukuran tersebut.
- Apabila nilai C_i/L_{ij} hasil pengukuran lebih besar dari 1 maka dilakukan perhitungan nilai C_i/L_{ij} yang baru dengan rumus:

$$\left(\frac{C_i}{L_{ij}} \right)_{Baru} = 1,0 + P \cdot \log \left(\frac{C_i}{L_{ij}} \right)_{Hasil Pengukuran} \quad (2)$$

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

Pada metode IP digunakan berbagai parameter kualitas air, maka pada penggunaannya dibutuhkan nilai perhitungan C_i/L_{ij} sebagai tolak ukur pencemaran. Setelah diketahui nilai perhitungan C_{ij}/L_{ij} untuk setiap parameter selanjutnya ditentukan nilai rata-rata $(C_{ij}/L_{ij})_R$ dan nilai maksimum $(C_{ij}/L_{ij})_M$ dari keseluruhan C_{ij}/L_{ij} , kemudian dapat dilakukan perhitungan Indeks Pencemaran (IP) dengan persamaan :

$$IP = \sqrt{\frac{(C_{i/L_{ij}})_M^2 - (C_{i/L_{ij}})_R^2}{2}} \quad (3)$$

Metode Indeks Pencemaran (IP) ditentukan dengan membandingkan data simulasi terhadap baku mutu kualitas air. Kriteria klasifikasi indeks pencemaran disajikan pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5 Klasifikasi Indeks Pencemaran

Indeks Pencemaran (IP)	Mutu Perairan
$0,0 \leq P_{ij} \leq 1,0$	Baik
$1,0 \leq P_{ij} \leq 5,0$	Cemar Ringan
$5,0 \leq P_{ij} \leq 10$	Cemaran Sedang
$P_{ij} > 10$	Cemar Berat

Sumber: Kepmen LH No.115/2003

2.6 Parameter Indikator Pencemaran

Pencemaran air terdiri dari bermacam-macam jenis, dan pengaruhnya terhadap lingkungan serta makhluk hidup. Indikator atau tanda bahwa air lingkungan telah tercemar adalah adanya perubahan atau tanda yang dapat diamati melalui (Wardhana, 2004): adanya perubahan suhu air, adanya perubahan PH atau konsentrasi ion hidrogen, adanya perubahan warna, bau dan rasa air, timbulnya endapan, koloidal, bahan pelarut, adanya mikroorganisme dan meningkatnya radioaktivitas air lingkungan. Pengamatan yang dilakukan untuk mengetahui adanya perubahan kualitas air meliputi parameter fisik dan parameter kimia.

Parameter yang digunakan untuk mengetahui tingkat pencemaran air pada penelitian ini sebagai berikut:

a. Suhu

Suhu ($^{\circ}\text{C}$) atau temperatur pada badan air penerima/sungai dapat berubah karena perubahan musim, perubahan harian dan masukan berupa buangan air limbah yang panas dari industri. Suhu memperlihatkan kecenderungan aktivitas kimiawi dan biologis di dalam air. Perubahan suhu berpengaruh terhadap proses fisika, kimia dan biologi badan air. Kenaikan suhu air akan menimbulkan beberapa akibat sebagai berikut : (1) jumlah oksigen terlarut di dalam air menurun; (2) kecepatan reaksi kimia meningkat; (3) kehidupan ikan dan hewan air lainnya terganggu dan (4) jika batas suhu yang mematikan terlampaui, ikan dan hewan air lainnya mungkin akan mati (Fardiaz, 1992). Kisaran suhu optimum bagi pertumbuhan fitoplankton di perairan adalah 20°C - 30°C (Effendi, 2003).

b. pH atau Konsentrasi Ion Hidrogen

Air normal yang memenuhi syarat untuk suatu kehidupan mempunyai pH sekitar 6,5 - 7,5. Air akan bersifat asam atau basa tergantung besar kecilnya pH. Bila pH di bawah pH normal, maka air tersebut bersifat asam, sedangkan air yang mempunyai pH di atas pH normal bersifat basa. Air limbah dan bahan buangan industri akan mengubah pH air yang akhirnya akan mengganggu kehidupan organisme di dalam air (Wardhana, 2004). Sebagian besar biota akuatik sensitif terhadap perubahan pH dan menyukai pH antara 7 - 8.5. Nilai pH sangat mempengaruhi proses biokimiawi perairan.

c. Oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen, DO*)

Dissolved oxygen atau oksigen terlarut sangat menentukan kehidupan biota perairan. Oksigen merupakan akseptor elektron dalam reaksi respirasi, sehingga banyak dibutuhkan oleh biota aerobik. Oksigen juga mempengaruhi kelarutan dan ketersediaan berbagai jenis nutrisi dalam air. Kondisi oksigen terlarut yang rendah memungkinkan adanya aktivitas bakteri anaerobik pada badan air. Oksigen terlarut dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain penutupan vegetasi, BOD (*Biological Oxygen Demand*), perkembangan fitoplankton, ukuran badan air, dan adanya arus

angina (Effendi, 2003). Dalam kondisi aerobik, peranan oksigen adalah untuk mengoksidasi bahan organik dan anorganik dengan hasil akhirnya adalah nutrisi yang pada akhirnya dapat memberikan kesuburan perairan. Dalam kondisi anaerobik, oksigen yang dihasilkan akan mereduksi senyawa-senyawa kimia menjadi lebih sederhana dalam bentuk nutrisi dan gas. Karena proses oksidasi dan reduksi inilah maka peranan oksigen terlarut sangat penting untuk membantu mengurangi beban pencemaran pada perairan secara alami maupun secara perlakuan aerobik yang ditujukan untuk memurnikan air buangan industri dan rumah tangga. Suatu perairan yang tingkat pencemarannya rendah dan dapat dikategorikan sebagai perairan yang baik memiliki kadar oksigen terlarut (DO) > 5 ppm (Salmin, 2005).

d. BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)

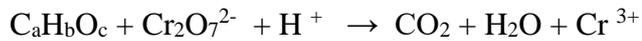
Kebutuhan oksigen biologis atau *Biochemical Oxygen Demand* adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme di dalam air untuk memecah (mendegradasi) bahan organik yang ada di dalam air tersebut (Wardhana, 2004). Air yang telah tercemar oleh bahan buangan yang bersifat antiseptik atau bersifat racun, seperti fenol, kreolin, detergen, asam sianida, insektisida dan sebagainya, jumlah mikroorganismenya juga relatif sedikit. Sehingga makin besar kadar BOD nya, maka merupakan indikasi bahwa perairan tersebut telah tercemar. Kadar oksigen biokimia (BOD) dalam air yang tingkat pencemarannya masih rendah dan dapat dikategorikan sebagai perairan yang baik berkisar 0 - 10 ppm (Salmin, 2005).

Besaran BOD digunakan sebagai cara untuk mengindikasikan pencemaran organik di perairan. Semakin banyak bahan organik yang terdapat dalam perairan, maka makin besar jumlah oksigen yang dibutuhkan, sehingga harga BOD semakin besar yang mengindikasikan tingginya tingkat pencemaran (Suwari, 2011).

e. COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Chemical Oxygen Demand atau kebutuhan oksigen kimia adalah jumlah oksigen yang diperlukan agar bahan buangan yang ada dalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia (Wardhana, 2004). Bahan buangan organik tersebut akan

dioksidasi oleh kalium bichromat yang digunakan sebagai sumber oksigen (*oxidizing agent*) menjadi gas CO₂ dan gas H₂O serta sejumlah ion chrom. Reaksinya sebagai berikut:



Perairan dengan nilai COD tinggi tidak diinginkan bagi kepentingan perikanan dan pertanian. Nilai COD pada perairan yang tidak tercemar biasanya kurang dari 20 mg/L, sedangkan pada perairan tercemar dapat lebih dari 200 mg/L dan pada limbah industri dapat mencapai 60.000 mg/L (UNESCO, WHO/UNEP, 1992 dalam Wardhana, 2004).

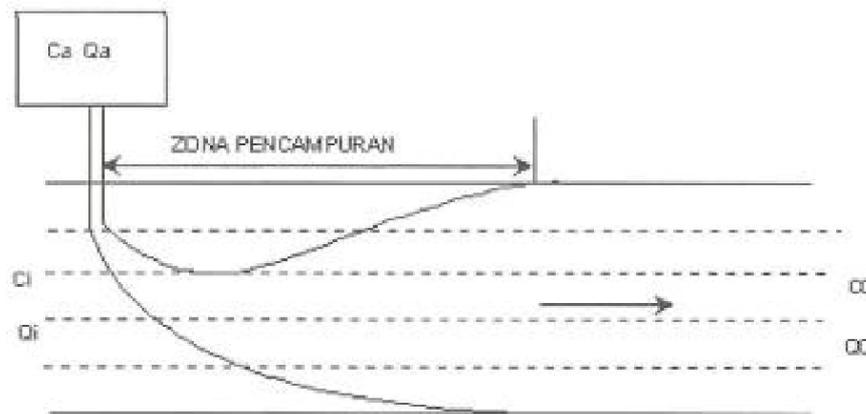
f. Padatan Tersuspensi (*Total Suspended Solid/TSS*)

Padatan tersuspensi (*Total Suspended Solid*) umumnya terdiri dari fitoplankton, zooplankton, lumpur, pasir halus, dan limbah industri. Padatan tersuspensi memiliki diameter kurang dari 1 µm dan dapat tertahan pada saringan yang memiliki diameter pori sebesar 0.45 µm. Tingginya konsentrasi TSS berbanding lurus dengan nilai kekeruhan dalam air, akibatnya cahaya matahari sulit masuk dan menyebabkan terganggunya proses fotosintesis dalam perairan (Jiyah et al, 2017). Hujan merupakan salah satu faktor yang dapat meningkatkan nilai kekeruhan pada badan air baik di danau maupun sungai. Penyebab kekeruhan pada air sungai berasal dari partikel besar pada lapisan permukaan tanah yang terbawa pada saat banjir ataupun longsor terjadi (Effendi, 2003).

2.7 Pencampuran dan Pengenceran

Apabila suatu saluran menyambung limbah cair ke dalam sungai, maka proses pencampuran secara fisik dan pengenceran akan terjadi. Pencampuran adalah menurut EPA area atau volume air terbatas di mana pengenceran awal limbah terjadi dan kriteria kualitas air dapat dilampaui namun kondisi beracun yang akut dapat dicegah. Pencampuran tersebut tidak mungkin langsung sempurna di dekat saluran, tetapi akan membentuk kurva (*plume*) seperti pada (Gambar 4). Panjang zona pencampuran dipengaruhi pada geometri sungai, kecepatan aliran sungai dan desain saluran pembuangan. Dalam pengendalian pencemaran air,

prinsip pengenceran ini sering digunakan untuk memperkirakan kadar BOD dan oksigen terlarut di bagian hilir saluran pembuangan.



Gambar 4 Profil pengenceran pencemaran dari titik saluran pembuangan limbah

Dengan anggapan bahwa limbah tercampur sempurna, maka konsentrasi pengenceran setiap parameter dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$Cd = \frac{Cs.Qs + Ql.Cl}{Qs + Ql} \quad (4)$$

Dimana:

Cd = konsentrasi pengenceran (mg/l)

Cs = konsentrasi bagian hulu sebelum saluran (mg/l)

Cl = konsentrasi limbah (mg/l)

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

Ql = debit limbah (m^3 /detik)

2.8 Self Purification

Moersidik dan Rahma (2011) menyatakan, *self purification* adalah kemampuan air untuk membersihkan diri secara alamiah dari kontaminan dan pencemar. Keberadaan beban pencemar di perairan dipengaruhi oleh kadar oksigen terlarut, apabila ketersediaan kadar oksigen terlarut tinggi maka dapat mendukung

terjadinya proses *self purification*. *Self purification* juga merupakan penghilang zat organik, residu pupuk pertanian serta pencemar lain pada suatu sungai. Keberadaan oksigen terlarut di perairan dibutuhkan oleh bakteri untuk dekomposisi bahan organik. *Self purification* dikategorikan sebagai pintu masuk polusi yang dapat dikontrol untuk setiap aliran air di sungai dan aliran pengenceran dianggap untuk polusi masuk yang tidak terkontrol yang jelas lebih tinggi dari *self purification*. *Self purification* adalah cabang dari pendekatan berorientasi objek yang telah dikembangkan untuk analisis pengendalian polusi sumber titik di wilayah sungai.

Marlina (2011) menyatakan bahwa terdapat beberapa zona pengembangan pemurnian alami, yaitu:

1. Zona air bersih, zona ini terdapat jauh di hulu sungai, jauh dari sumber pencemaran, indikatornya adalah masih dapat dimanfaatkannya air sebagai bahan baku air minum.
2. Zona biodegradasi, pada zona ini terjadi penurunan oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*), sehingga nilai konsentrasi COD di perairan menjadi tinggi.
3. Zona dekomposisi, zona ini terdapat pada daerah sumber pencemar, limbah yang mengalir akan didekomposisi. Terjadi proses pembongkaran bahan organik oleh bakteri dan organisme. Indikator pada zona ini adalah kaya akan bakteri dan mikroorganisme.
4. Zona pemulihan, pada zona ini kualitas air kembali bersih, nilai oksigen terlarut kembali normal.

2.9 Daya Tampung Beban Pencemaran

Daya tampung beban pencemaran (DTBP) atau *Total Maximun Daily Loads* merupakan kemampuan air pada suatu sumber air, untuk menerima masukan beban pencemaran tanpa mengakibatkan air tersebut menjadi cemar. Perhitungan daya tampung beban pencemaran diperlukan untuk mengendalikan zat pencemar yang berasal dari berbagai sumber pencemar yang masuk ke dalam sumber air dengan mempertimbangkan kondisi intrinsik sumber air dan baku mutu air yang ditetapkan penentuan daya tampung beban pencemaran dapat ditentukan dengan

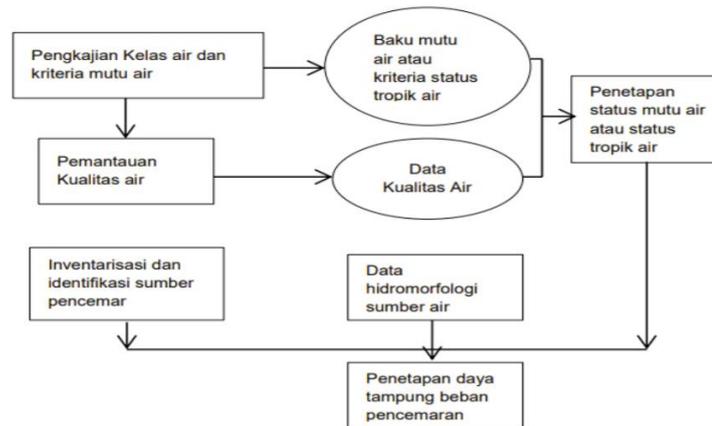
menggunakan metode neraca massa yaitu dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$DTBP = \frac{\text{Beban cemaran}}{\text{Sesuai baku mutu}} - \frac{\text{Beban cemaran}}{\text{terukur}} \quad (5)$$

Beban cemaran sesuai baku mutu atau beban pencemaran maksimum (BPM) didapat dengan mengalikan debit sungai dengan konsentrasi berdasarkan baku mutu yang berlaku, sedangkan beban pencemaran terukur didapat dengan mengalikan debit sungai dengan konsentrasi hasil pengukuran.

Metode yang dapat digunakan dalam menetapkan daya tampung beban pencemaran air pada sumber air adalah metode perhitungan yang telah teruji secara ilmiah, yaitu metode neraca massa, metode *streeter-phelps*, pemodelan numerik terkomputerisasi (*computerized numerical modeling*) dan metode lain yang didasarkan pada perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi sepanjang dapat dipertanggung jawabkan secara ilmiah.

Metode Neraca Massa dan Metode *Streeter-Phelps* hanya dapat menggambarkan nilai daya tampung per titik pengukuran saja. Sebaiknya pengelolaan dan kontrol kualitas air dilakukan secara menyeluruh. Oleh karena itu, metode numerik terkomputerisasi lebih dipilih dibandingkan kedua metode tersebut karena dapat menentukan nilai daya tampung sepanjang sungai. Metode numerik terkomputerisasi merupakan metode simulasi menggunakan program komputer yang pada dasarnya hasil pemodelan merupakan penerapan dan modifikasi dari teori metode sebelumnya yaitu Metode Neraca Massa dan Metode *Streeter-Phelps* (Fatmawati, dkk.,2012).



Gambar 5 Penetapan Daya Tampung Beban Pencemaran

(Sumber: Anggraeni, 2022)

Hasil penetapan Daya Tampung Beban Pencemaran dapat dipergunakan sebagai bahan pertimbangan dan kebijakan sebagai berikut:

- Penetapan rencana tata ruang
- Pemberian izin usaha/kegiatan yang lokasinya secara langsung atau tidak langsung mempengaruhi kualitas air
- Pemberian izin lingkungan yang berkaitan dengan pembuangan air limbah ke sumber air
- Penetapan mutu air sasaran serta kebijakan pengendalian pencemaran air.

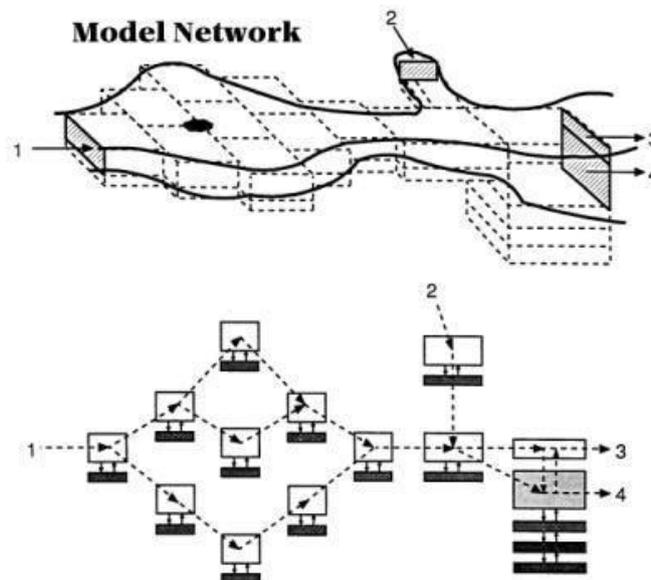
2.10 Pemodelan Water Analysis Simulation Program (WASP)

Suatu badan air terjadi proses yang kompleks baik proses kimia, biologi maupun fisika. Proses tersebut dapat disederhanakan dengan menggunakan pemodelan, salah satunya adalah WASP. Model WASP merupakan program yang dikembangkan pertama kali pada tahun 1970 oleh HydroScience, Inc. yang kemudian diadaptasi oleh US-EPA untuk mengolah data TMDL (*Total Maximum Daily Loads*) pada badan sungai (T Wool dkk., 2020). Pemodelan WASP merupakan model yang dinamis, fleksibel, dapat disesuaikan dengan kebutuhan dan dapat digunakan untuk menganalisis berbagai masalah kualitas air pada beragam badan air seperti pada kolam, sungai, danau, waduk, muara, dan perairan pesisir berdasarkan prinsip utama neraca massa. Prinsip ini mensyaratkan bahwa massa

dari masing-masing bagian kualitas air yang diteliti harus diperhitungkan dalam satu bagian. Model WASP mengkaji setiap bagian kualitas air berdasarkan input spasial dan temporal dari titik awal hingga ke titik akhir perpindahan, berdasarkan prinsip neraca massa dalam ruang dan waktu (Amborse, 2009).

WASP menyediakan pilihan modul untuk memungkinkan simulasi variabel kualitas air konvensional serta toksikan. Model kinetik WASP didasarkan pada seperangkat persamaan transportasi dan transformasi. Transportasi *advective* didorong oleh aliran air melalui jaringan komputasi tertentu. Aliran masuk membawa konsentrasi batas ke dalam jaringan, dan aliran internal mendorong sebagian besar konstituen di sepanjang jalur aliran tertentu melalui jaringan dan keluar dari batas hilir.

Beberapa keunggulan dari WASP diantaranya adalah penggunaannya yang lebih sederhana dan *user friendly* sehingga orang awam dapat mudah mengerti cara penggunaannya, tampilan antar muka yang lebih modern dan menarik serta memiliki banyak variasi pemodelan sesuai kebutuhan. Selain itu WASP dapat terintegrasi dengan database lain yang dibutuhkan dalam simulasi apabila database tersebut tersedia.



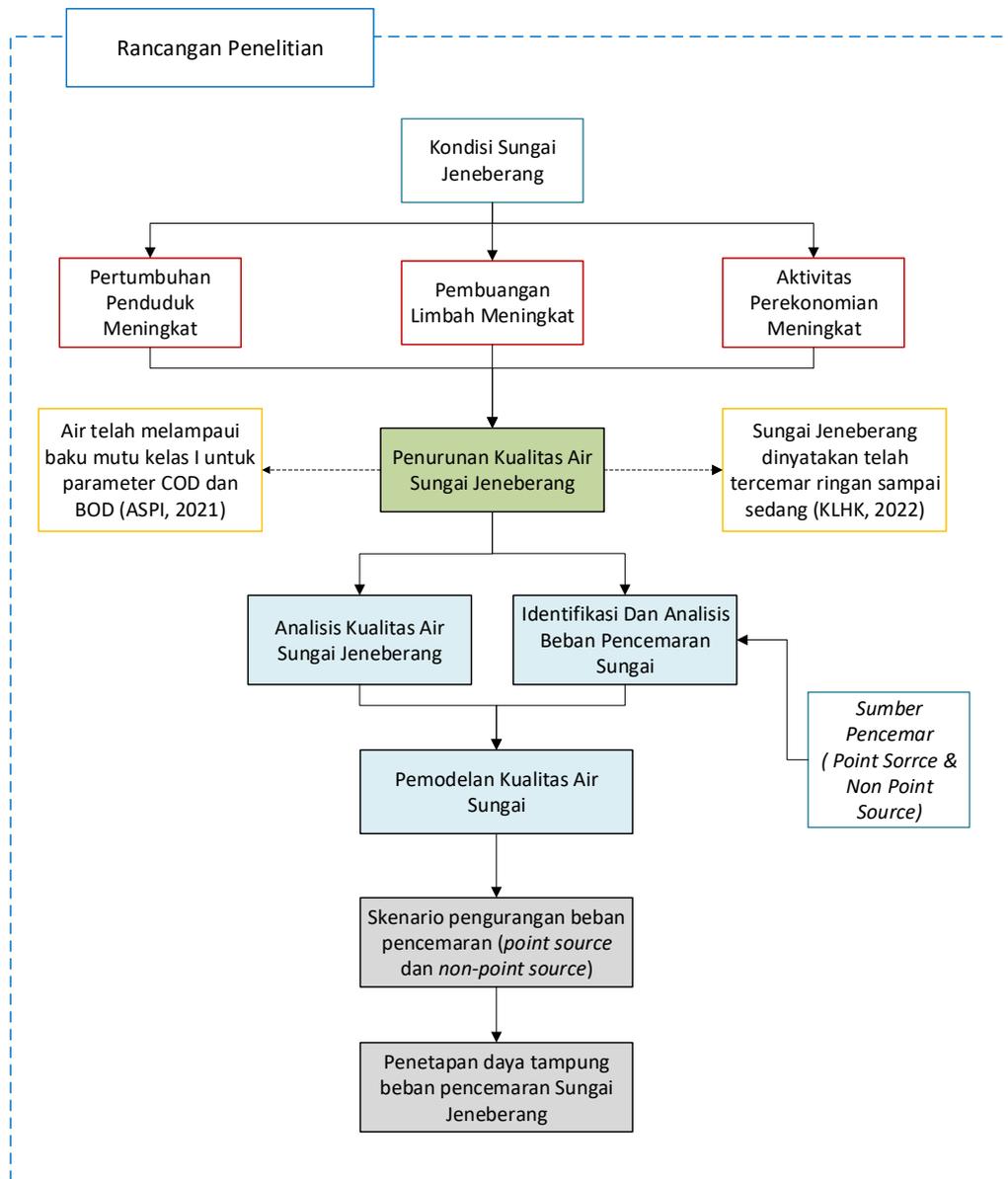
Gambar 6 Model network dengan jalur transport advectif, (atas) visualisasi penampang samping, (bawah) visualisai dalam bentuk diagram alir (Sumber: Ambrose et al., 2009)

Kelemahan dari WASP ini adalah dimana untuk negara berkembang seperti Indonesia yang belum memiliki database sungai secara terpadu dan tidak tersedia secara online, maka proses input pada WASP harus dilakukan secara manual.

Dalam melakukan perhitungan keseimbangan massa dengan pemodelan WASP, input data yang dibutuhkan memiliki karakteristik penting, yaitu: Simulasi dan pengendalian output, segmentasi model, perpindahan secara adveksi dan dispersi, nilai batas, sumber beban pencemaran terpusat dan tersebar, parameter kinetika, konstanta, dan fungsi waktu serta nilai awal. Data input ini bersama-sama dengan persamaan umum neraca massa model WASP dan persamaan kinetika kimia spesifik, didefinisikan secara unik menjadi sekumpulan persamaan khusus kualitas air. Hal ini terintegrasi secara numerik dalam model WASP sebagai proses simulasi terhadap waktu.

2.11 Kerangka Pikir Penelitian

Kerangka pikir penelitian merupakan penjelasan secara garis besar alur dalam penelitian. Adapun kerangka pikir penelitian ini disajikan pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7 Kerangka pikir penelitian

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif yang bersifat analisis serta menggunakan metode observasi lapangan. Di dalam pendekatan penelitian

kuantitatif, peneliti: (1) mengidentifikasi variabel-variabel masukan dan keluaran yang menjadi pusat perhatiannya; (2) mengeleminir atau mengontrol variabel-variabel; (3) memilih subyek dengan secara random; (4) melakukan treatment; dan (5) membandingkan pengaruh treatment dengan menggunakan batas kesesatan tertentu. Jika pengontrolan variabel tidak mungkin dilakukan meskipun di laboratorium maka pengontrolan dilakukan dengan mengadakan manipulasi statistik (Hardani, dkk, 2020). Penelitian ini terdiri dari 2 (dua) variabel, yaitu:

3.1.1 Variabel Bebas (Independent Variable)

Variabel bebas (*independent variable*) merupakan variabel yang menurut peneliti akan mempengaruhi variabel terikat (*dependent variabel*) dalam suatu eksperimen (Hardani, dkk, 2020). Pada penelitian ini variabel bebas yang digunakan, yaitu sampel air Sungai Jeneberang, titik lokasi pengambilan sampel, penentuan segmen, debit sungai, kondisi hidraulik sungai, aspek klimatologi (curah hujan, kecepatan angin, lama penyinaran matahari), jumlah penduduk dan penggunaan lahan.

3.1.2 Variabel Terikat (Dependent Variable)

Variabel terikat (*dependent variable*) merupakan variabel yang menurut peneliti akan dipengaruhi oleh variabel lain dalam suatu eksperimen (Hardani dkk, 2020). Pada penelitian ini, variabel terikat yang digunakan, yaitu parameter kualitas air, diantaranya suhu, derajat keasaman (pH), *Dissolved Oxygen* (DO), *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solid* (TSS), serta beban pencemar dan daya tampung beban pencemaran.

3.2 Waktu Dan Lokasi Penelitian

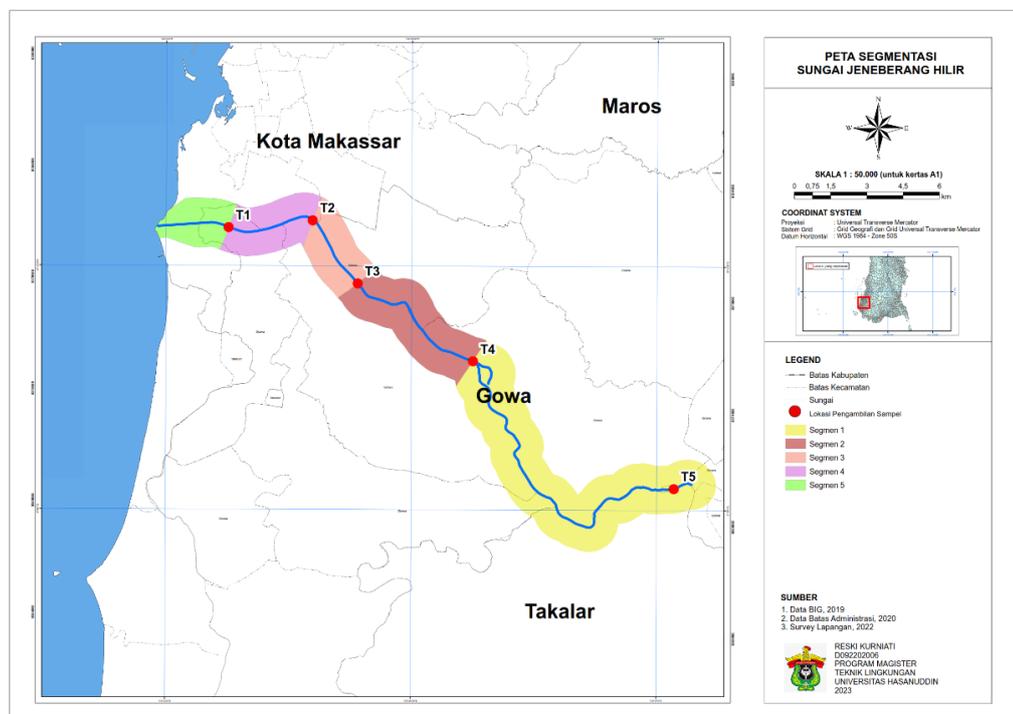
3.2.1 Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan sejak bulan April 2022 sampai Juni 2023. Penelitian ini dimulai dari penyusunan dan perencanaan penelitian, survei pendahuluan, penentuan segmen-segmen lokasi penelitian, pengambilan sampel

uji, identifikasi kualitas air yang dilaksanakan di laboratorium, serta identifikasi daya tampung beban pencemar, analisis dan pengolahan data hingga penyusunan laporan.

3.2.2 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilaksanakan di sepanjang Daerah Aliran Sungai Jeneberang, Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan. Berikut adalah Gambar 8 lokasi penelitian.



Gambar 8 Lokasi Penelitian

Pengukuran sampel kualitas air dilakukan secara langsung di sepanjang aliran Sungai Jeneberang bagian hilir dari hulu ke muara. Lokasi titik pengambilan sampel didasarkan pada pengamatan secara langsung berdasarkan wilayah yang diduga memiliki masukan sumber pencemar yang berpotensi mencemari Sungai Jeneberang. Jumlah titik pengambilan sampel air sungai sebanyak 5 (lima) titik yang terbagi ke dalam 5 (lima) segmen. Pertimbangan pemilihan 5 (lima) titik lokasi pengambilan sampel atau titik *sampling* adalah pertimbangan waktu dan jarak tempuh karena *sampling* harus dilakukan dalam 1 (satu) hari agar tidak terjadi

perubahan komposisi pada sampel yang mungkin terjadi di hari lain. Berikut adalah tabel pembagian titik lokasi *sampling* air Sungai Jeneberang.

Tabel 6 Pembagian Titik Lokasi Pengambilan Sampel

No.	Lokasi	Koordinat	Kode Titik	Deskripsi
1.	Towata, Kab. Takalar	5° 17' 30.5 LS, 119° 34' 22.8 BT	T5	Didominasi oleh aktivitas pertanian
2.	Borongloe Kab. Gowa	5° 14' 38.4 LS, 119° 29' 52.6 BT	T4	Didominasi oleh aktifitas pertanian dan domestik
3.	Tompobalang Kab. Gowa	5° 12' 53.6 LS, 119° 27' 17.3 BT	T3	Terdapat aktivitas domestik, industri tahu/tempe, dan adanya PDAM
4.	Pandang-pandang Kab. Gowa	5° 11' 28.1 LS, 119° 26' 16.6 BT	T2	Didominasi oleh aktifitas domestik, perkantoran
5.	Barombong, Kota Makassar	5° 11' 38 LS, 119° 24' 23.6 BT	T1	Didominasi oleh aktifitas domestik

Sumber: Hasil Analisis 2023

3.3 Bahan Dan Alat

3.3.1 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sampel air Sungai Jeneberang, *aquades*, tissue, kertas label, aluminium foil, larutan penguji kualitas air *Dissolved Oxygen* (DO).

3.3.2 Alat

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah GPS, termometer air raksa, *pH* meter, *current meter*, *water sampler*, *Dissolved Oxygen* (DO) *meter*, *cool box*, pemberat dan tali, botol plastik 1 L, jerigen, botol semprot, lakban, corong, pipet tetes, meteran, *stopwatch*, alat tulis, kamera, laptop, *software Water Quality Analysis System Program* (WASP) 8.4 dan *ArcGis Map* 10.8.

3.4 Populasi Dan Sampel

3.4.1 Populasi

Populasi adalah keseluruhan objek penelitian yang terdiri dari manusia, benda-benda, hewan, tumbuh-tumbuhan, gejala-gejala, nilai tes, atau peristiwa-peristiwa sebagai sumber data yang memiliki karakteristik tertentu di dalam suatu penelitian (Hardani dkk, 2020). Adapun populasi pada penelitian ini adalah sampel air sungai di sepanjang aliran DAS Sungai Jeneberang.

3.4.2 Sampel

Sampel adalah sebagian anggota populasi yang diambil menggunakan teknik pengambilan (Hardani dkk, 2020). Sampel pada penelitian ini adalah 5 (lima) sampel air sungai dengan 3 kali ulangan yang berjumlah 15 sampel.

3.5 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data disesuaikan dengan karakteristik data yang akan diambil. Teknik pengumpulan data yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

3.5.1 Data Primer

Data primer dalam penelitian ini adalah data-data yang didapatkan melalui pengukuran langsung di lapangan. Pengambilan data primer yang dilakukan diantaranya survey pendahuluan dilakukan untuk menentukan lokasi pengambilan sampel, titik koordinat pengambilan sampel dan pengambilan sampel air sungai dilakukan untuk pengujian parameter kualitas air yang dilakukan di laboratorium yang berkaitan dengan daya tampung beban pencemaran sungai, yaitu suhu, pH, *Total Suspended Solid* (TSS), *Biological Oxygen Demand* (BOD), dan *Chemical Oxygen Demand* (COD).

3.5.2 Data Sekunder

Pengambilan data sekunder dalam penelitian ini untuk memenuhi kebutuhan data yang tidak bisa diambil secara langsung sebab keterbatasan dan waktu. Data sekunder diperoleh dari data tertulis atau dokumen dinas/instansi terkait serta studi pustaka pada penelitian terdahulu. Adapun data sekunder yang akan digunakan pada penelitian ini dapat dilihat dari Tabel 7 berikut.

Tabel 7 Data Sekunder yang akan digunakan

No.	Jenis Data	Sumber Data
1.	Data jumlah penduduk, luas area pertanian dan perkebunan	Badan Pusat Statistik (BPS) Kab. Gowa, Kab. Takalar dan Kota Makassar
2.	Peta Sungai, Desa, Tutupan lahan	BPKTHL
3.	Data Monitoring Kualitas Air Sungai	DLH Kab. Gowa dan DLH Provinsi Sulawesi Selatan
4.	Data debit limbah PDAM	PDAM Tirta Jeneberang Kab. Gowa
5.	Data klimatologi	BMKG Wilayah IV dan ECMWF

Sumber: Hasil Analisis 2022

3.6 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama 3 (tiga) pekan melalui tahap observasi lapangan, pengambilan sampel, serta pengukuran parameter kualitas air.

3.6.1 Observasi Lapangan

Observasi lapangan dilakukan untuk menentukan lokasi sampling pada lokasi penelitian, yaitu di sepanjang aliran Sungai Jeneberang bagian hilir.

3.6.2 Pengambilan Sampel

1. Segmentasi Badan Sungai DAS

Sungai yang akan dihitung daya tampung beban pencemarannya harus merupakan sistem aliran yang utuh dari hulu (danau, bendungan, atau mata air yang kualitasnya masih alami) sampai hilir (laut, rawa, atau danau). Pembagian ruas atau segmentasi sebuah sungai berdasarkan dua hal yaitu sebagai berikut.

1) Penentuan ruas berdasarkan sistem aliran sungai

Satu ruas sungai (*reach*) didefinisikan jika sungai utama bertemu dengan aliran sungai lain yang masuk ke sungai utama atau jika ada aliran sungai yang keluar dari sungai utama.

2) Penentuan ruas berdasarkan area sumber pencemaran.

Satu ruas juga dapat ditetapkan jika sungai utama melalui suatu daerah permukiman padat penduduk, perkotaan, daerah industry, area perkebunan, area persawahan dan area-area lain yang dapat memengaruhi kualitas air sungai tersebut.

Sungai Jeneberang merupakan sungai besar yang mempunyai banyak percabangan atau anak sungai sehingga pembagian ruas Sungai Jeneberang pada penelitian ini didasarkan pada sistem aliran sungai dan area sumber pencemaran.

Daerah penelitian akan dibagi menjadi beberapa segmen. Penentuan segmen berdasarkan beban pencemar, morfologi sungai serta arah aliran saluran terbuka. Variasi beban pencemar dimaksudkan agar dapat diketahui kontribusi beban pencemar di tiap segmen, sementara untuk morfologi sungai dapat mempengaruhi kualitas air dan debit sungai, serta arah aliran saluran terbuka sebagai pendekatan identifikasi potensi arah sumber pencemar non-titik (*non-point source*).

Penentuan segmen berdasarkan beban pencemar ditetapkan berdasarkan persyaratan sebagai berikut:

- a) Dilakukan *boundary*/pembatasan wilayah penelitian yaitu berupa jarak maksimal dari tepi sungai pada tiap desa di wilayah studi yang disesuaikan dengan peraturan dari Ditjen Cipta Karya Departemen PU (1985) dalam Sastrawijaya (1991), bahwa perhitungan prakiraan total air limbah yang dihasilkan dari kegiatan domestik, diasumsikan adalah permukiman yang berada 500 – 1000 m dari tepi sungai.
- b) Dari hasil pembatasan wilayah desa tersebut, selanjutnya dapat diketahui presentase luas wilayah yang masuk ke dalam wilayah penelitian. Hal tersebut juga dilakukan untuk perhitungan jumlah penduduk yang terdapat di wilayah desa tersebut, diasumsikan berdasarkan presentase luas wilayah.

2. Teknik Pengukuran Debit

Debit sungai adalah volume air mengalir melalui suatu penampang melintang sungai per satuan waktu. Metode yang umum diterapkan untuk menetapkan debit sungai adalah metode profil sungai (*cross section*). Pada metode ini debit merupakan hasil perkalian antara penampang vertikal sungai dengan kecepatan aliran air. Pembuatan profil sungai dilakukan dengan mengukur lebar sungai, membagi menjadi 3 (tiga) bagian pias dengan interval jarak yang sama, lalu mengukur kedalaman setiap interval untuk mengetahui luas penampang basah sungai. Selanjutnya, penentuan kecepatan aliran di setiap pas dihitung berdasarkan jenis dan manual *current meter* yang digunakan. Pengukuran kecepatan aliran dengan *current meter* dilakukan dengan 3 (tiga) kali pengulangan pada interval waktu 10 detik. Debit aliran (Q) diperoleh dengan mengalikan luas penampang basah sungai (A) dengan kecepatan aliran sungai (v).

$$Q = A \times V \quad (6)$$

Keterangan:

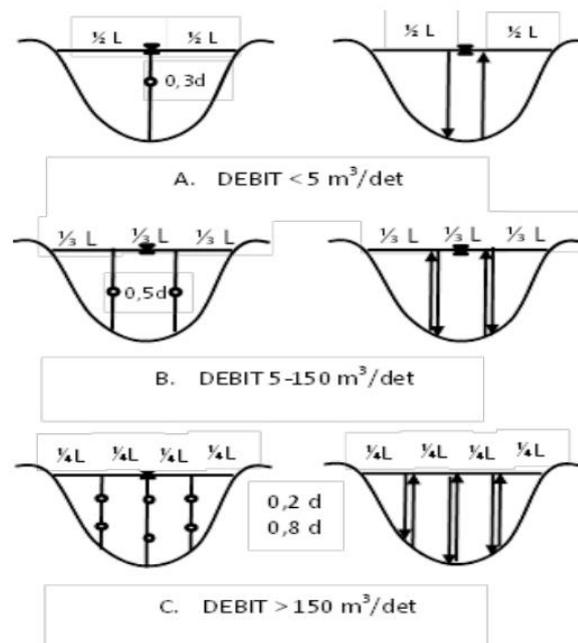
$$Q = \text{Debit aliran (m}^3\text{/s)}$$

A = Luas penampang (m^2)

V = Kecepatan Aliran (m/s)

3. Pengambilan Sampel Kualitas Air

Pengambilan sampel air berdasarkan SNI 6989.57:2008 tentang Air dan air limbah – Bagian 57: Metode Pegambilan contoh air permukaan dan disesuaikan dengan karakteristik lapangan. Metode pengambilan sampel menggunakan teknik *purposive sampling* yaitu cara pengambilan sampel berdasarkan adanya beberapa pertimbangan sumber kegiatan yang diduga memberikan beban pencemaran. Pengambilan sampel dilakukan dengan pengulangan tiga kali (*triplo*). Pengambilan sampel kualitas air menggunakan alat *vandorn water sampler*.



Gambar 9 Titik pengambilan contoh air sungai (SNI 6989.57-2008)

Pemilihan titik pengambilan sampel air berdasarkan pada:

- 1) Sungai dengan debit kurang dari 5 m³/detik, contoh diambil pada satu titik di tengah sungai pada kedalaman 0,5 kali kedalaman dari permukaan atau diambil dengan alat *integrated sampler* sehingga diperoleh contoh air dari permukaan sampai ke dasar.

- 2) Sungai dengan debit antara $5 \text{ m}^3/\text{detik}$ sampai $150 \text{ m}^3/\text{detik}$, contoh diambil dengan alat *integrated sampler* sehingga diperoleh contoh air dari permukaan sampai ke dasar secara merata kemudian dicampurkan.
- 3) Sungai dengan debit lebih dari $150 \text{ m}^3/\text{detik}$, contoh diambil minimum pada enam titik masing-masing pada jarak $1/4$, $1/2$, dan $3/4$ lebar sungai pada kedalaman $0,2$ dan $0,8$ kali kedalaman dari permukaan atau diambil dengan alat *integrated sampler* sehingga diperoleh contoh air permukaan sampai ke dasar secara merata lalu dicampurkan.

4. Pengujian Parameter Kualitas Air

Pada tahap ini dilakukan pengujian pada sampel air Sungai Jeneberang yang telah diambil dengan parameter kualitas air yang sudah ditentukan. Pengujian dilaksanakan di Laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan, Universitas Hasanuddin. Dimana parameter yang diuji antara lain: suhu, pH, DO, BOD, COD dan TSS. Berikut metode yang digunakan dalam pengujian parameter kualitas air.

- a. Suhu, SNI 06-6898.23.2005 : Cara Uji Suhu Dengan Termometer.
- b. pH, SNI 6989.11-2019 : Cara Uji Derajat Keasaman (Ph) Dengan Menggunakan pH Meter.
- c. DO, SNI 06-6989.14-2004 : Cara Uji Oksigen Terlarut Secara Yodometri (Modifikasi Azida).
- d. BOD, SNI 6989.72-2009 : Cara Uji Kebutuhan Oksigen Biokimia (*Biochemical Oxygen Demand/BOD*).
- e. COD, SNI 6989.73-2019 : Cara Uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (*Chemical Oxygen Demand/COD*) Dengan Refluks Tertutup Secara Titrimetri.
- f. TSS, SNI 6989.3-2019 : Cara Uji Padatan Tersuspensi Total (*Total Suspended Solid/TSS*) Secara Gravimetri.

3.6.3 Penentuan Status Mutu Air

Penentuan status mutu air Sungai Jeneberang dalam penelitian ini ditentukan dengan menggunakan metode Indeks Pencemaran (IP) yang mengacu

kepada Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air (KepMenLH, 2003). Penentuan indeks pencemaran dilakukan untuk mengetahui kualitas badan air terhadap suatu peruntukkan.

Identifikasi kualitas air Sungai Jeneberang dilakukan dengan menggunakan metode indeks pencemaran. Nilai parameter uji hasil pengukuran lapangan maupun laboratorium kemudian dibandingkan dengan baku mutu air pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Rumus perhitungan indeks pencemaran yang digunakan dalam analisa kualitas air adalah sebagai berikut:

$$P_{ij} = \sqrt{\frac{(C_i/L_{ij})^2_M + (C_i/L_{ij})^2_R}{2}} \quad (7)$$

Keterangan:

Li = konsentrasi parameter kualitas air yang dicantumkan dalam baku mutu peruntukan air (j)

Ci = konsentrasi parameter kualitas air hasil pengukuran

Pij = indeks pencemaran bagi peruntukan (j)

$(C_i/L_{ij})^2_M$ = nilai C_{ij} / L_{ij} maksimum

$(C_i/L_{ij})^2_R$ = nilai C_{ij} / L_{ij} rata-rata

3.6.4 Analisis Perhitungan Beban Pencemar

Analisa perhitungan beban pencemar yang dimasukkan ke dalam model dilakukan dengan memperkirakan beban pencemaran yang bersumber dari effluent *point source* dan *non-point source*. Analisis beban pencemar dibantu dengan peta, seperti peta rupa bumi atau topografi, peta penggunaan lahan dan peta administrasi. Pendekatan ini mempermudah analisis hubungan kualitatif antara beban pencemar dengan sumber air sehingga diketahui kontribusi masing-masing sumber-sumber

pencemar. Berikut klasifikasi sumber pencemar menurut Kementerian Lingkungan Hidup Tahun 2018:

a. Sumber Pencemar Tertentu (*Point Source*)

Merupakan pencemar yang dapat diketahui lokasinya secara pasti. Kegiatan yang tergolong kedalam *point source* antara lain industri, IPAL, dan anak sungai. Berikut persamaan yang digunakan dalam menghitung beban pencemar industri:

$$Li = Ci \times V \times OpHrs / 1000.000 \quad (8)$$

Keterangan :

Li : Beban pencemar (kg/tahun)

Ci : Konsentrasi pencemar di air limbah (mg/L)

V : Debit air limbah (l/tahun)

OpHrs : Total jam operasionam (jam/tahun)

1000.000 : Faktor konversi (mg/kg)

b. Sumber Pencemar Tak Tentu (*Diffuse Source/Non-point Source*)

Penentuan besaran pencemar *diffuse source* atau *non-source point* dapat dilakukan dalam beberapa perhitungan sebagai berikut:

1) Potensi Beban Pencemaran Domestik

Estimasi beban pencemar domestik didasarkan pada data jumlah penduduk. Untuk beban pencemar dari rumah tangga tanpa IPAL, estimasi beban pencemar didapat dengan cara perkalian antara jumlah penduduk per unit pemetaan. Faktor Emisi parameter pencemar tertentu per orang per hari, koefisien transfer beban dan Rasio Equivalen Kota. Adapun rumus yang dipergunakan adalah sebagai berikut:

$$PBP = \frac{\text{Jumlah Penduduk} \times FE \times RE \times \alpha}{1000} \quad (9)$$

Keterangan :

PBP	= Potensi Beban Pencemar (kg/hari)
FE	= Faktor Emisi
RE	= Rasio Equivalen (<i>discharge loads</i>)
α	= Koefisien transfer beban
1000	= konversi dari gram ke kilogram

Tabel 8 Faktor Emisi Domestik Rumah Tangga

No	Parameter Pencemaran	Faktor Emisi (gr/jiwa/hari)
1	TSS	38
2	BOD ₅	40
3	COD	55
4	Minyak dan Lemak	1,22
5	Detergen	0,189
6	NH ₃ -N	1,8
7	NO ₂ -N	0,002

Sumber: KLHK, 2018

Tabel 9 Nilai Koefisien Transfer Beban (α)

No	Jarak Dari Sungai (meter)	Nilai α
1	0 – 100	1
2	100 – 500	0,85
3	≥ 500	0,3

Sumber : KLHK, 2018

Nilai koefisien transfer beban pada Tabel 9 dapat dilihat bahwa semakin jauh dari badan sungai maka nilainya semakin kecil, hal ini didasarkan bahwa semakin jauh jarak dari sungai maka potensi masuknya beban pencemar ke badan sungai akan semakin kecil.

Nilai rasio equivalen kota yang disajikan pada Tabel 10 memperlihatkan bahwa semakin mengarah ke pedalaman, maka nilainya semakin mengecil. Hal ini didasarkan pada asumsi bahwa daerah pedalaman menghasilkan beban pencemaran yang lebih sedikit.

Tabel 10 Rasio Equivalen Kota

No	Daerah	Rasio Equivalen Kota
1	Kota	1
2	Pinggiran Kota	0,8125
3	Pedalaman	0,6250

Sumber : KHLK, 2018

2) Potensi Beban Pencemaran Penggunaan Lahan

Adapun rumus perhitungan estimasi beban pencemar pada lahan terbangun adalah sebagai berikut:

$$\text{BP Lahan Terbangun (kg/hari)} = \text{Luas Lahan} \times \text{FE} \times 1\% \quad (10)$$

Keterangan:

1 % = Beban pencemar yang masuk ke badan sungai

Faktor pengali 1% merupakan hasil dari kajian Puslitbang Sumber Daya Alam Kementerian Pekerjaan Umum pada tahun 2004 yang menyatakan bahwa delivery load rata-rata pencemaran penggunaan lahan di Indonesia adalah sebesar 1%.

Perhitungan beban pencemaran untuk penggunaan lahan akan tergantung pada luasan yang digunakan serta faktor emisi untuk setiap jenis lahan sebagaimana disajikan pada tabel 11 dan tabel 12 dibawah ini.

Tabel 11 Faktor Emisi Pertanian

Parameter	Faktor emisi (kg/ha/musim tanam)		
	Sawah	Palawijaya	Perkebunan lain/Tegalan/Kebun Campuran
BOD ₅	225	125	32,5
TN	20	10	3
TP	10	5	1,5
TSS	0,46	2,4	1,6
Pestisida	0,16	0,08	0,025

Sumber : KLHK, 2018

Tabel 12 Faktor Emisi Penggunaan Lahan

No	Parameter	Hutan (kg/Ha/hari)	Lahan terbangun (kg/Ha/hari)
1	BOD ₅	9,32	15,34
2	TN	21,92	18,90
3	TP	1,37	0,55

Sumber : KLHK, 2018

3) Potensi Beban Pencemaran Industri Skala Kecil

Industri tahu dan tempe merupakan industri kecil yang banyak tersebar di kotakota besar dan kecil. Tempe dan tahu merupakan makanan yang digemari oleh banyak orang. Akibat dari banyaknya industri tahu dan tempe, maka limbah hasil proses pengolahan banyak membawa dampak terhadap lingkungan.

Perhitungan beban pencemaran dari industri skala kecil jika tidak memiliki IPAL, dilakukan dengan estimasi menggunakan rumus sebagai berikut.

$$PBTT = \frac{\text{Jumlah Bahan Baku Kedelai} \times FE}{1000} \quad (11)$$

Keterangan:

PBTT = Potensi Beban Pencemaran Industri Tahu Tempe (kg/hari)

1000 = konversi dari stasiun gram menjadi kilogram

Tabel 13 Faktor Emisi Industri Tahu Tempe

No	Parameter	Beban Pencemaran (gr) per kg kedelai
1	BOD ₅	50
2	COD	110
3	TSS	9
4	CH ₄	29,4

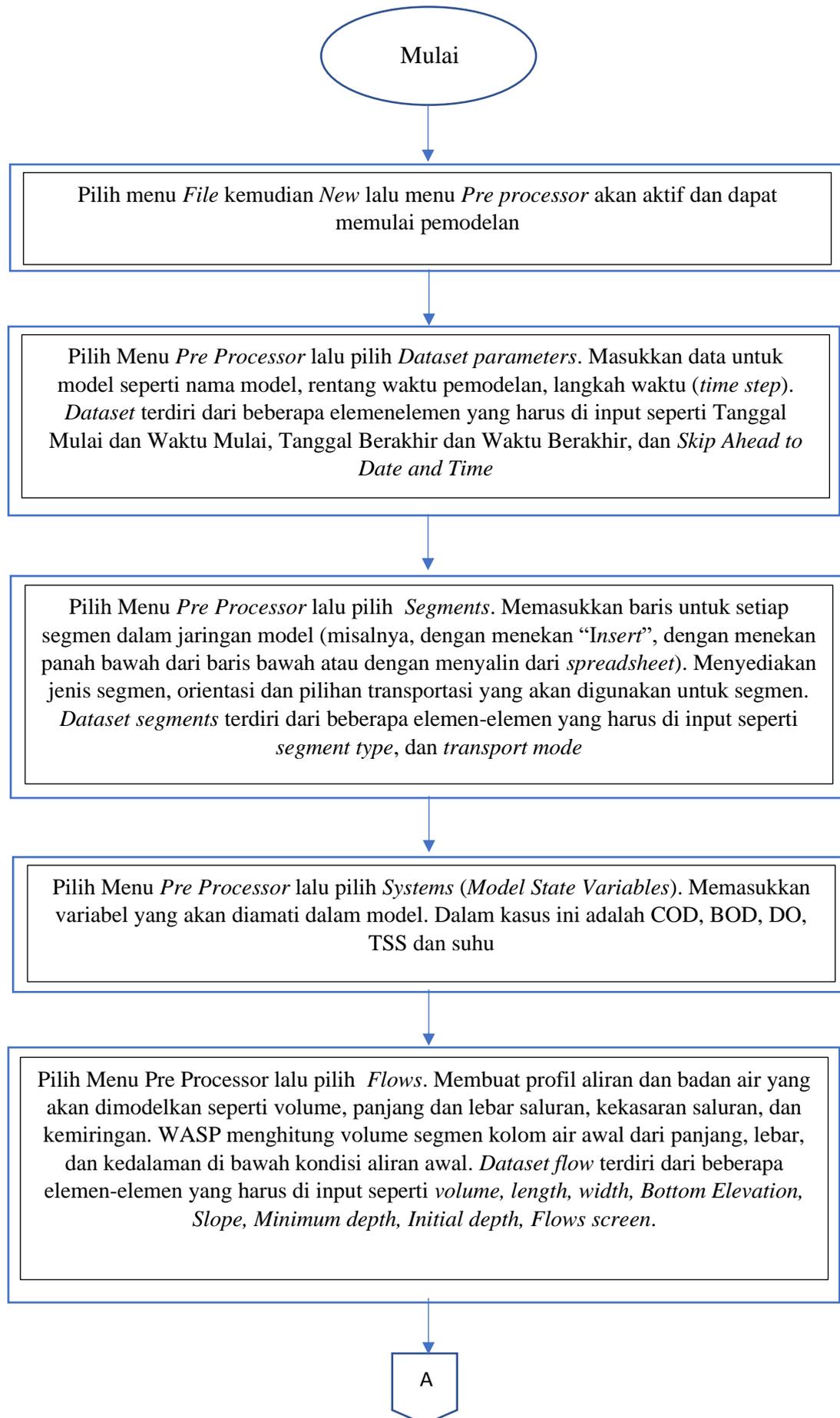
Sumber: KLHK, 2018

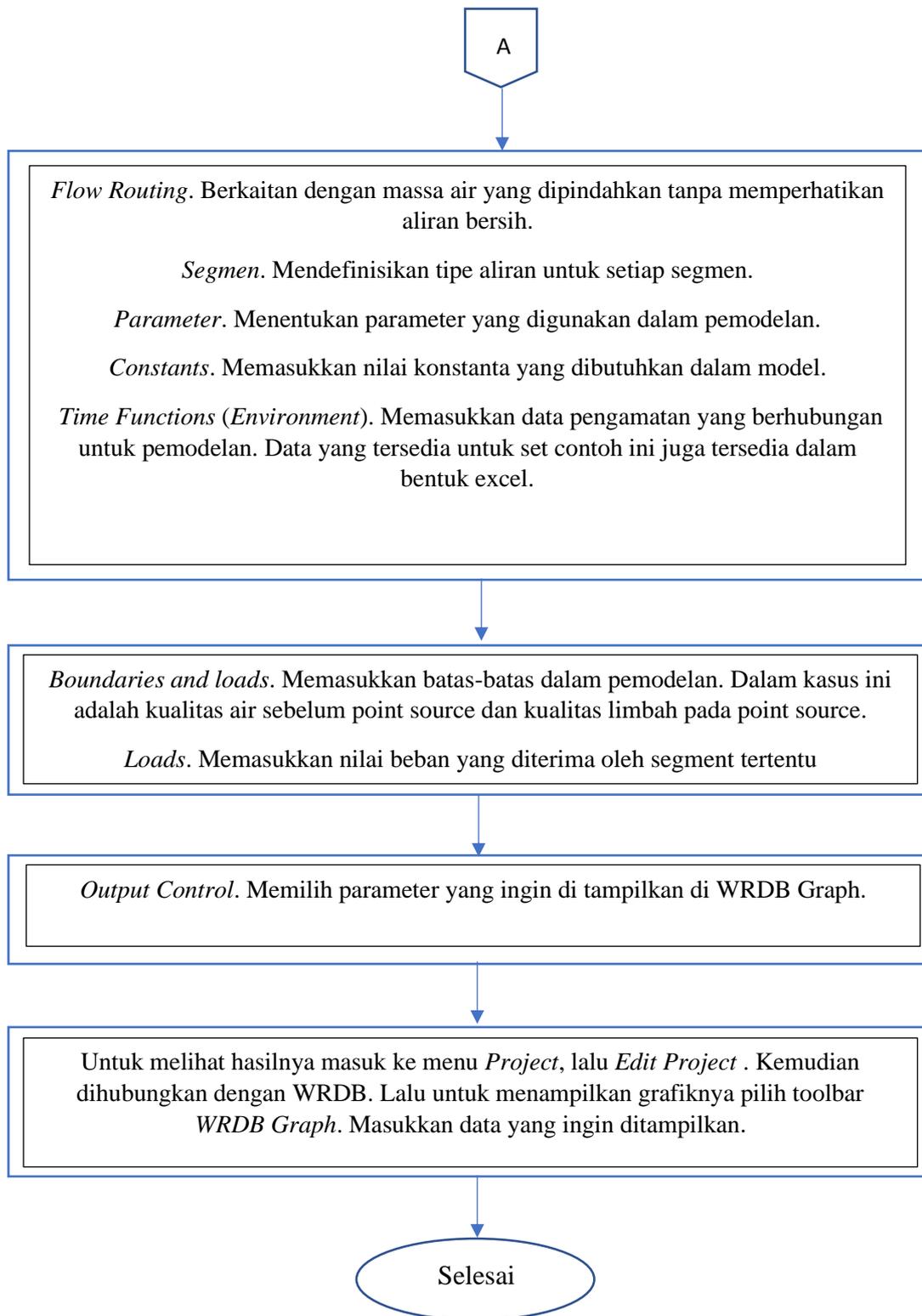
3.6.5 Pemodelan Kualitas Air dengan Menggunakan WASP

Pemodelan WASP digunakan untuk perhitungan daya tampung beban pencemar. Penggunaan pemodelan ini untuk penyederhanaan dalam perhitungan yang kompleks di badan sungai. Tahap yang dilakukan dalam pemodelan yaitu tahap persiapan data, dan tahap penyelesaian data. Data yang telah diolah merupakan data input dari pemodelan WASP yaitu, data beban pencemar, morfologi sungai dan morfologi segmen, kualitas air dan debit sungai. Tahap persiapan data merupakan tahap input data yang merupakan data hasil olah dari data pengukuran langsung maupun data sekunder. Data yang diinput ke dalam model yaitu berupa:

1. Data morfologi sungai sebagai input penggal sungai berupa kedalaman sungai, lebar sungai, panjang segmen, kemiringan sungai, dan kekasaran dasar sungai (koef *manning*).
2. Data kualitas air berupa suhu, pH, DO, BOD, COD, dan TSS
3. Data beban pencemar yang telah didapatkan baik melalui data sekunder maupun primer dan telah dihitung menggunakan faktor emisi.
4. Data aliran sungai yang telah didapatkan melalui pengukuran debit di setiap segmen.

Tahap selanjutnya yaitu, tahap penyelesaian. Setelah data selesai di input ke dalam model maka, model siap *running*. Output dari model yaitu mengkalibrasi hasil model dengan hasil pengukuran di lapangan atau kondisi eksisting. Proses kalibrasi hasil model ini agar hasil model dapat diterima, proses ini dilakukan dengan pengurangan atau penambahan konsentrasi hingga mendekati kondisi eksisting dan hasil dapat cocok dan diterima. Penentuan diterima atau tidaknya hasil model dengan melakukan uji validasi dan dan uji reliabilitas. Berikut adalah bagan alir penggunaan pemodelan WASP 8.4.





Gambar 10 Bagan alir penggunaan pemodelan WASP

3.7 Kalibrasi dan Validasi Model

Kalibrasi model adalah pengaturan akurasi dari nilai pemodelan dengan cara membandingkan terhadap nilai aktual. Kalibrasi dilakukan dengan evaluasi

goodness-of-fit pada data observasi dan simulasi digunakan untuk memperoleh nilai Metode *Root Mean Square Error* (RMSE) dan R^2 (koefisien determinasi). Tujuan dari kalibrasi adalah untuk menyesuaikan parameter yang masuk sehingga akan ada kecocokan yang lebih dekat antar nilai simulasi dan data yang diamati (Ambrose dkk, 1992). Berikut rumus perhitungan RMSE dan R^2 .

$$RMSE = \left\{ \frac{\sum (O_i - S_i)^2}{N} \right\}^{0.5} \quad (12)$$

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - O_{mean})^2} \right) \quad (13)$$

Dimana:

RMSE = nilai *Root Mean Square Error*

R^2 = koefisien determinasi

O_i = nilai observasi atau pengukuran pada waktu t

S_i = nilai simulasi model pada waktu t

n = frekuensi observasi atau pengukuran

O_{mean} = rata-rata nilai observasi

Koefisien determinasi (R^2) menunjukkan hubungan antara nilai-nilai yang diamati dan yang disimulasikan. R^2 berkisar antara 0 hingga 1, dengan nilai yang lebih tinggi menunjukkan varians kesalahan yang lebih sedikit, dan biasanya nilai yang lebih besar dari 0,5 dianggap dapat diterima (Moriasi dkk, 2007).

3.8 Analisis Simulasi Daya Tampung Beban Pencemar (DTBP)

Simulasi dengan menggunakan model WASP dilakukan dengan berbagai reduksi beban pencemar. Adapun skenario simulasi yang digunakan dalam model WASP antara lain:

- Skenario 1 : kondisi eksisting untuk tahun 2022
- Skenario 2 : reduksi beban pencemar sebesar 50%, 70% dan 80% dari *point source* dan *non-point source*
- Skenario 3 : reduksi beban limbah dengan *trial and error*

Dalam simulasi 1 bertujuan untuk mengkalibrasi data kualitas air yang akan digunakan untuk simulasi lainnya. Dari skenario 2 dapat diketahui kondisi kualitas air Sungai Jeneberang hilir dengan reduksi beban limbah *point source* dan *non-point source* sebesar 50 % yang terdiri dari reduksi 25% dari *point source* dan 25% dari *non-point source*, reduksi 70% dengan reduksi 35% dari *point source* dan 35% dari *non-point source*, reduksi 80% yaitu mereduksi sebesar 50% dari *point source* dan 30% dari *non-point source*. Hasil simulasi skenario 3 untuk mengetahui beban pencemar Sungai Jeneberang Hilir saat parameter sesuai baku mutu kelas II. Berdasarkan hasil simulasi skenario tersebut akan diperoleh perhitungan kapasitas pencemaran.

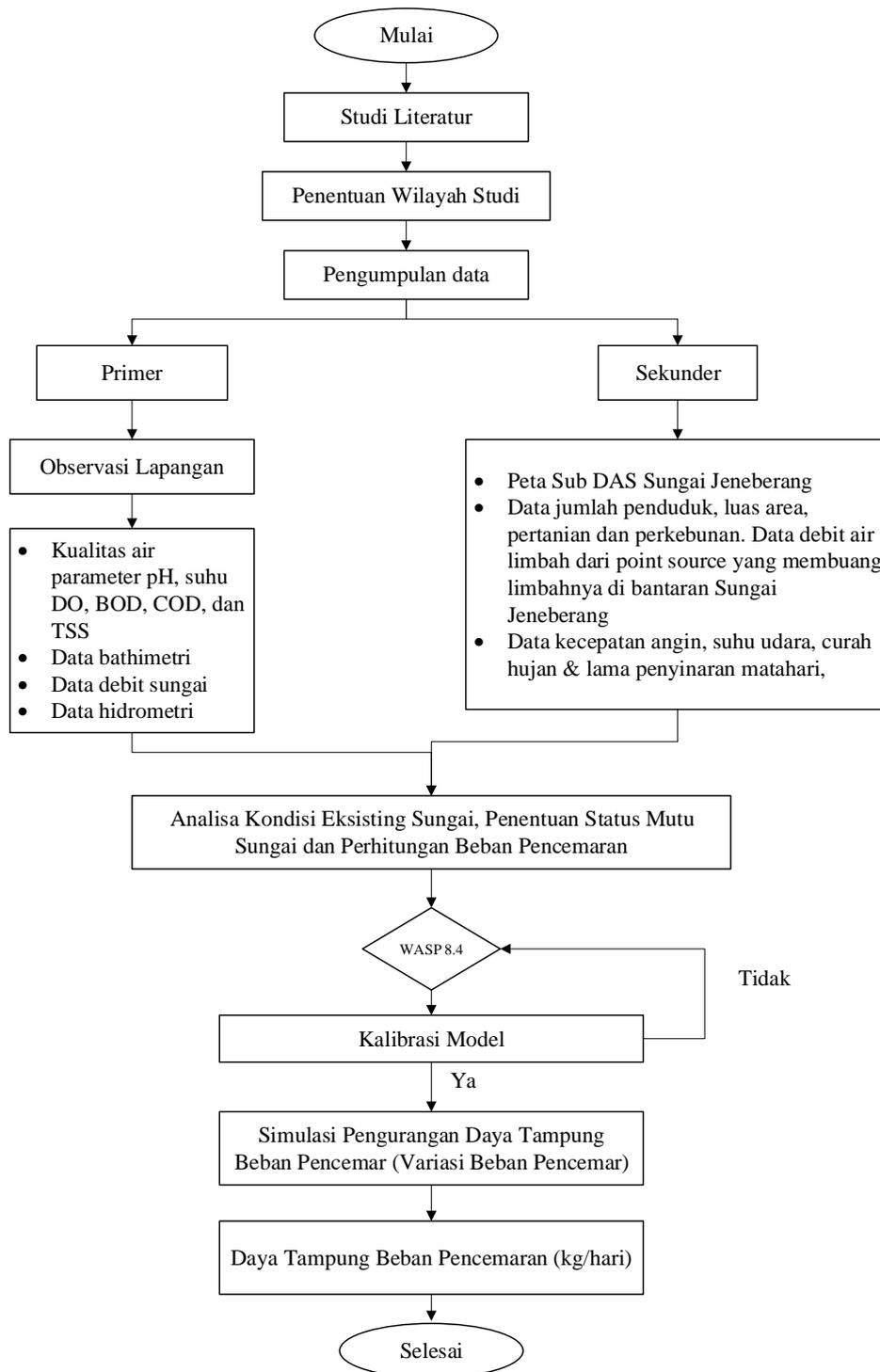
3.9 Perhitungan Daya Tampung Beban Pencemar (DTBP)

Perhitungan total daya tampung beban pencemar harian atau yang lebih dikenal sebagai *total maximum daily load* (TMDL) dapat digunakan untuk mengetahui penilaian standar kualitas dan kuantitas perairan dari jumlah maksimum polutan. TMDL menghitung ketidakpastian pada pemodelan dengan mengalokasikan beban yang diijinkan yaitu pada penelitian ini *non-point source* serta total beban sebagai *Margin of Safety* (MOS) yang secara matematis diwakili dengan persamaan (Sylvester, 2013; Copeland, 2012; US EPA, 2001):

$$\text{DTBP} = \text{Beban Pencemar } \textit{non-point source} + \text{Beban Pencemaran } \textit{point source} \quad (13)$$

Berdasarkan hasil dari simulasi skenario akan diperoleh perhitungan kapasitas beban pencemaran dengan selisih hasil total beban pencemaran dengan pencemaran eksisting. Selisihnya merupakan beban pencemaran yang harus dikurangi agar kualitas air sesuai baku mutu yang telah ditetapkan.

3.10 Diagram Alir Penelitian



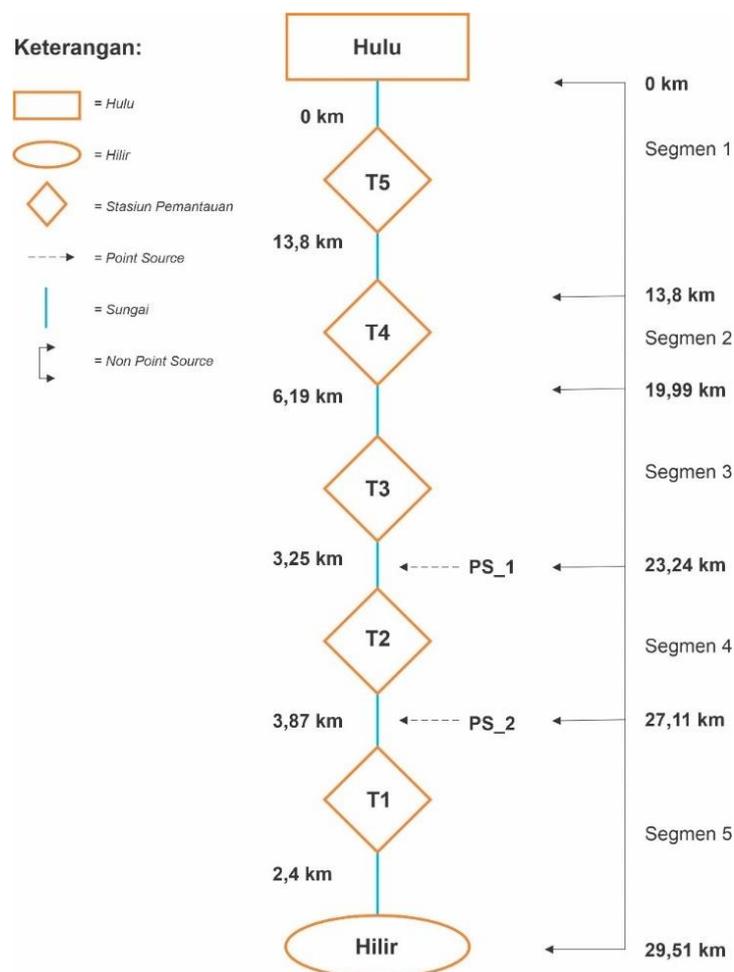
Gambar 11 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

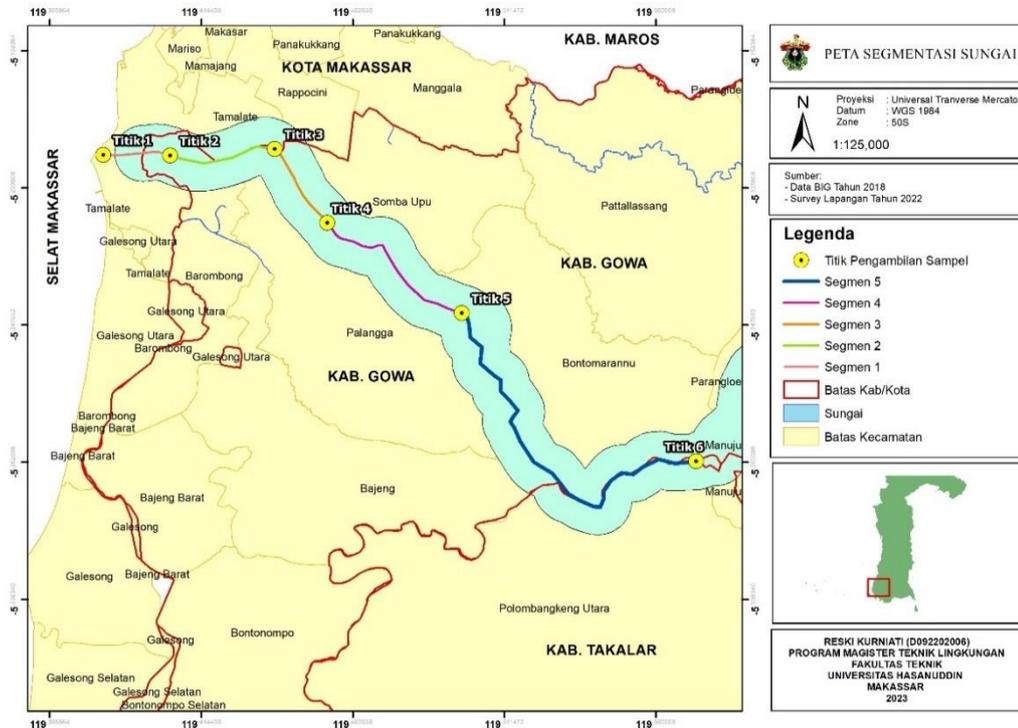
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Segmentasi Sungai Jeneberang Hilir

Pembagian segmen pada sungai merupakan hal yang penting dalam memudahkan dan pembentukan model WASP. Dalam penelitian ini, sungai dibagi menjadi 5 bagian segmen dengan 5 titik sampling yang didasarkan pada akses untuk pengambilan sampel, masukan anak sungai, dan sumber pencemar. Adapun untuk segmentasi sungai dalam melakukan pemodelan pembagian *catchment area* tiap segmen dapat dilihat pada Gambar 12.



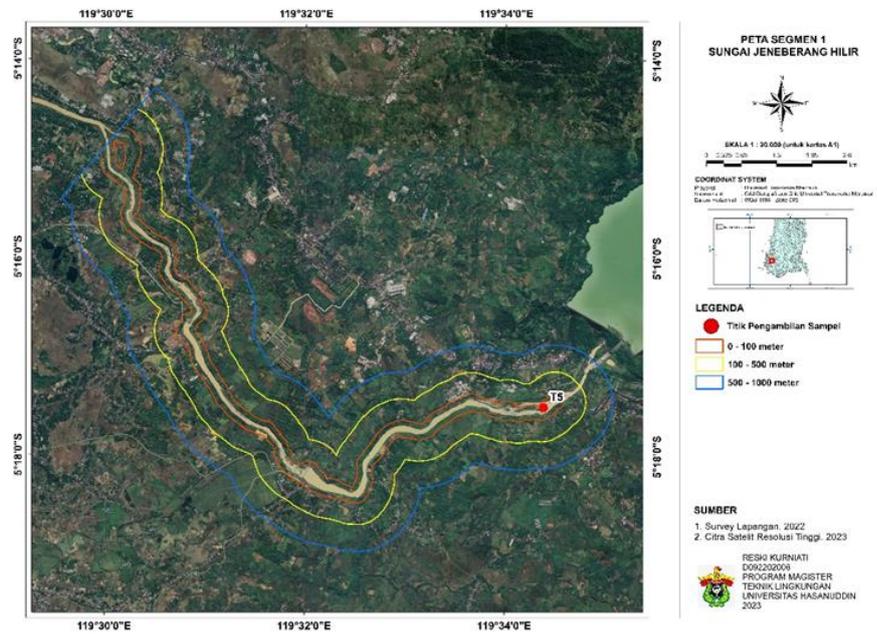
Gambar 12 Pembagian segmen Sungai Jeneberang bagian Hilir



Gambar 13 Peta Segmentasi dan *Sampling Point* Sungai Jeneberang bagian hilir

4.1.1 Segmen 1

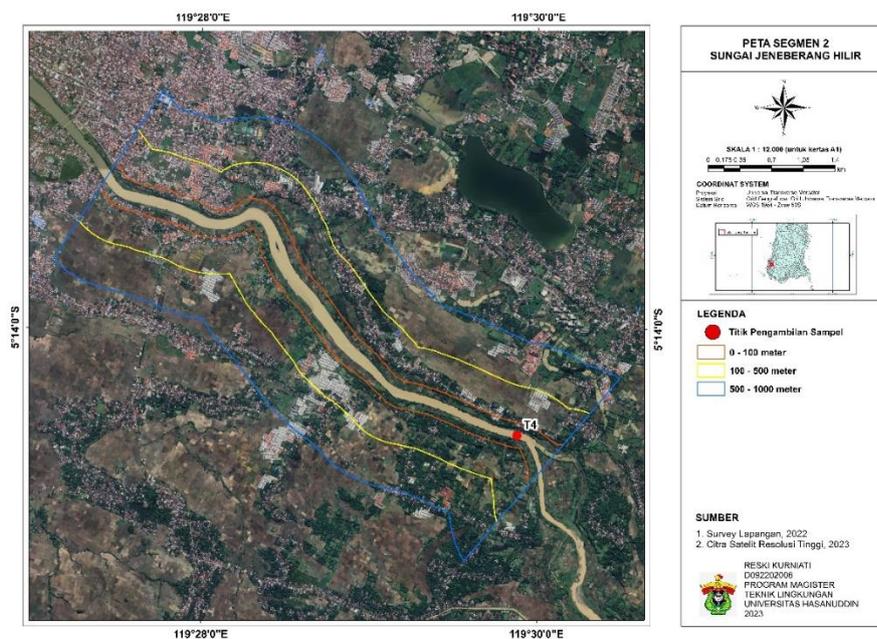
Segmen 1 merupakan bagian hulu dari penelitian ini dengan kode *sampling point* T5 berada di Kelurahan Towata, Kecamatan Polombangkeng Utara, Kabupaten Takalar dengan titik koordinat $5^{\circ} 17' 30,5$ LS, $119^{\circ} 34' 22,8$ BT. Penomoran *sampling point* dimulai dari hilir ke hulu, sehingga angka terbesar yang menjadi nomor pada bagian hulu. Pada segmen 1 ini terdiri dari beberapa bagian kecamatan yaitu kecamatan Bajeng, Bontomarannu, Manuju, Pallangga dan Polombangkeng Utara dengan panjang segmen 13,8 km. Segmen 1 didominasi oleh ladang, perkebunan dan persawahan. Aktivitas domestik pada Segmen 1 tidak terlalu signifikan dikarenakan jarak pemukiman warga dengan sungai relatif jauh dan kalau pun ada hanya terdiri dari beberapa rumah dengan ada jarak diantara tiap-tiap rumah. Segmen 1 adalah segmen terpanjang diantara segmen-segmen lainnya. Hal ini didasarkan pada kemampuan untuk mengakses lokasi pengambilan sampel yang sulit untuk disusuri menggunakan perahu. Berikut adalah gambar peta segmen 1.



Gambar 14 Peta Segmen 1

4.1.2 Segmen 2

Segmen 2 dengan titik sampling point T4 yang berada di desa Borongloe, Kecamatan Bontomarannu, pada titik koordinat $5^{\circ} 14' 38.4$ LS, $119^{\circ} 29' 52.6$ BT.

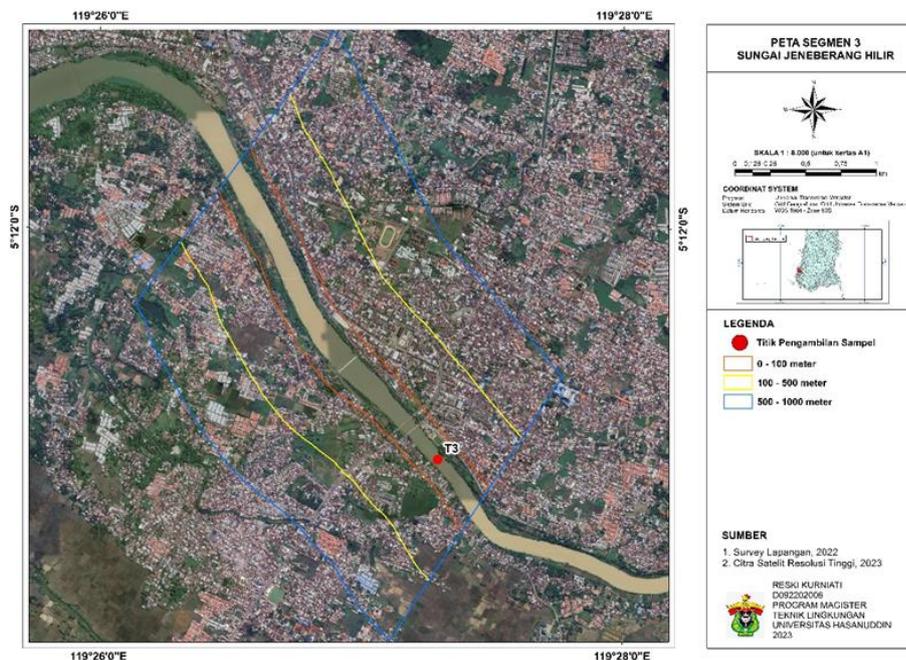


Gambar 15 Peta Segmen 2

Pada segmen 2 mulai didominasi dengan banyaknya pemukiman penduduk di sepanjang bantaran Sungai Jeneberang, namun masih terdapat persawahan, ladang dan perkebunan. Pada segmen ini penyumbang pencemar yang masuk ke badan Sungai Jeneberang adalah dari aktivitas domestik dan pertanian serta perkebunan.

4.1.3 Segmen 3

Pada *catchment area* segmen 3 terdiri dari beberapa kecamatan yaitu Pallangga, Somba Opu, dan Tamalate dengan titik *sampling point* T3 terletak di titik $5^{\circ} 12' 53,6$ LS, $119^{\circ} 27' 17,3$ BT. DI sepanjang segmen 3 mulai dipadati dengan pemukiman warga di sekitar pinggir Sungai Jeneberang dan terdapat pula PDAM IPA Pandang-Pandang serta beberapa pabrik industri kecil tahu dan tempe. Berikut gambar peta segmen 3.

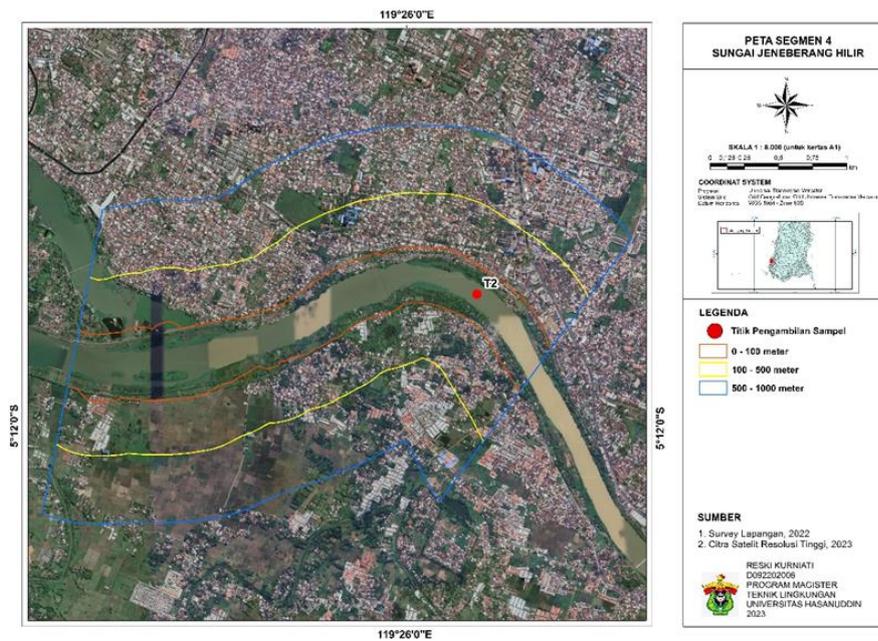


Gambar 16 Peta Segmen 3

4.1.4 Segmen 4

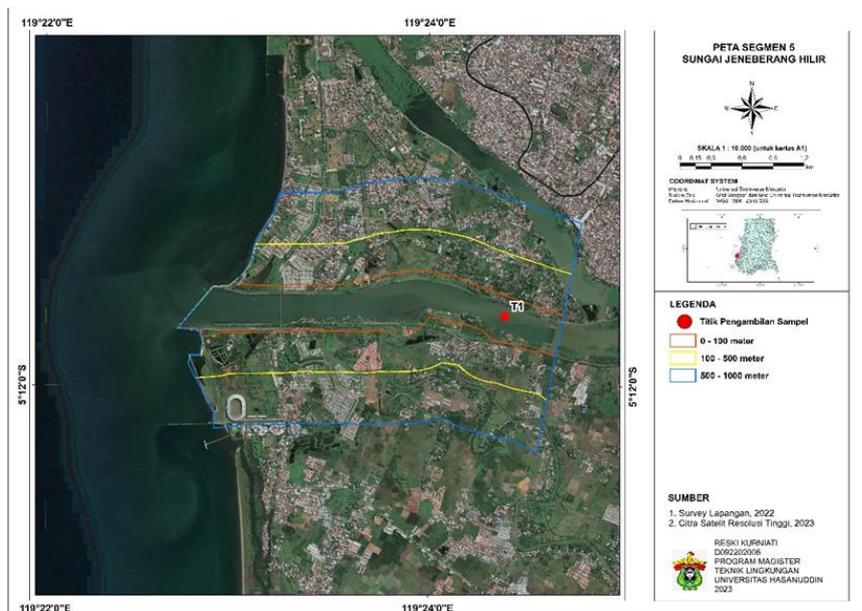
Segmen 4 terdiri dari beberapa kecamatan yaitu kecamatan Pallangga, Tamalate, dan Barombong. Segmen 4 didominasi dengan aktivitas domestik dan

sebagian kecil kegiatan pertanian serta terdapat PDAM IKK Barombong. *Sampling point* segmen 4 diwakili dengan kode T2 yang berada pada titik koordinat $5^{\circ} 11' 28,1$ LS, $119^{\circ} 26' 16,6$ BT. Berikut gambar peta segmen 4.



Gambar 17 Peta Segmen 4

4.1.5 Segmen 5



Gambar 18 Peta Segmen 5

Segmen 5 merupakan bagian hilir dari penelitian ini. Segmen 5 terdiri dari dua kecamatan yaitu kecamatan Tamalate dan Barombong. Segmen 5 diwakili dengan kode *sampling point* T1 yang berada pada titik koordinat $5^{\circ} 11' 38$ LS, $119^{\circ} 24' 23,6$ BT. Segmen 5 didominasi aktivitas domestik. Peta segmen 5 dapat dilihat pada Gambar 18.

4.2 Kondisi Eksisting Sungai Jeneberang Hilir

Sungai Jeneberang merupakan sungai utama di DAS Jeneberang. Sungai Jeneberang mengalir dari memiliki panjang kurang lebih 90 Km mengalir dari timur ke barat dari Gunung Bawakaraeng (2.833 mdpl) dan Gunung Lompobattang (2.876 mdpl) menuju Selat Makassar. Identifikasi dilakukan untuk memastikan kondisi eksisting tahun 2022 pada Sungai Jeneberang bagian hilir yang akan ditinjau dari beberapa parameter kualitas air. Identifikasi ini dilakukan dengan cara melakukan sampling air sungai di beberapa titik yang sudah ditentukan dengan membagi daerah penelitian menjadi 5 segmen sepanjang 29.51 km. Identifikasi Sungai Jeneberang bagian hilir dibagi menjadi 3 yaitu kondisi hidrolik sungai, kualitas air dan sumber pencemar.

4.2.1 Data Hidrolik Sungai Jeneberang Hilir

Data hidrolik Sungai Jeneberang bagian hilir yaitu berupa data kecepatan rata-rata, dan debit rata-rata. Data hidrolik diperoleh dari data observasi lapangan pada saat pengambilan sampel. Pengukuran lebar sungai digunakan GPS sebagai alat penunjuk menuju lokasi yang telah diinput titiknya melalui *Google Earth*. Data hidrolik sungai diperlukan untuk memenuhi kalibrasi model dalam program WASP. Data hidrolik Sungai Jeneberang diperoleh dengan beberapa cara, untuk pengukuran kecepatan rata-rata menggunakan alat *current meter* di setiap 0,2 m dan 0,8 m dari kedalaman sungai. Pengukuran kedalaman air menggunakan alat bantu tali tambang yang diberi pemberat dan melalui pengukuran $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, dan $\frac{3}{4}$ lebar sungai sebanyak 3 (tiga) kali ulangan (*triplo*). Dengan data kecepatan yang telah didapatkan maka data hidrolik yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 14 Data Hidrolik Sungai Jeneberang Hilir

Segmen	Lokasi	Panjang (m)	Lebar (m)	Kedalaman (m)	Debit (m ³ /s)
Segmen 1	Towata, Kab. Takalar	13.800	140,5	0,6	163,03
Segmen 2	Borongloe Kab. Gowa	6.900	70,9	2,7	248,07
Segmen 3	Tompobalang Kab. Gowa	3.250	86,6	3,3	279,05
Segmen 4	Pandang- pandang Kab. Gowa	3.870	161	2,3	198,15
Segmen 5	Barombong, Kota Makassar	2.400	207	2,3	182,19

Sumber: Hasil Penelitian, 2022

Berdasarkan hasil pengukuran, debit Sungai Jeneberang bagian hilir menunjukkan kondisi yang meningkat di beberapa segmen. Nilai debit tertinggi berada pada segmen 3 (T3) dengan nilai debit sebesar 279,05m³/detik. Dan nilai debit terendah ada pada segmen 1 (T5) dengan debit 163,03 m³/detik. Grafik debit eksisting Sungai Jeneberang pada tahun 2022 pada Gambar 19 berikut.



Gambar 19 Pengukuran debit eksisting Sungai Jeneberang bagian hilir pada bulan November 2022

4.2.2 Kualitas Air Sungai Jeneberang Hilir

Kualitas air Sungai Landak bagian hilir di representasikan berdasarkan hasil uji laboratorium di 5 stasiun sepanjang aliran Sungai Jeneberang bagian hilir. Kegiatan tersebut dilakukan secara berurutan dari hulu ke hilir yang diwakili oleh parameter suhu, pH, DO, BOD, COD dan TSS. Kondisi setiap parameter menunjukkan nilai konsentrasi yang berfluktuatif dan cenderung telah tercemar ringan. Hal ini dapat dilihat dari parameter-parameter yang tidak memenuhi baku mutu kelas II berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Data kualitas air Sungai Jeneberang bagian hilir hasil observasi lapangan terdapat pada Tabel 15.

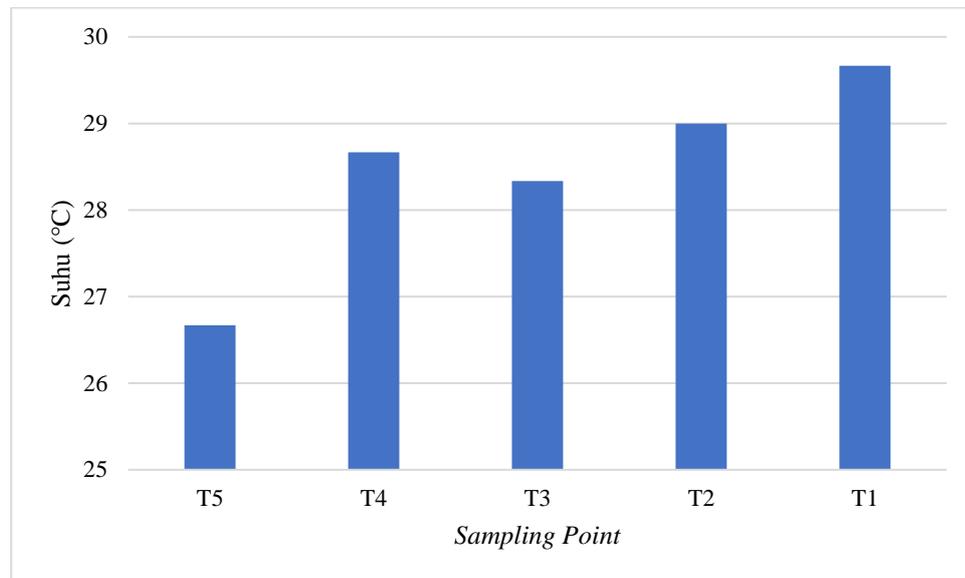
Tabel 15 Kondisi eksisting perairan Sungai Jeneberang bagian hilir pada bulan November 2022

Segmen	Stasiun	Parameter					
		Suhu (°C)	pH	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TSS (mg/L)
1	T5	27	7,22	8,38	12,86	9,08	52,33
2	T4	29	6,97	8,69	5,24	14,38	111,67
3	T3	28	6,84	8,86	13,36	14,21	109,33
4	T2	29	7,1	8,34	10,33	14,46	113,33
5	T1	30	6,48	8,16	10,63	17,97	185,33
Kriteria Mutu Air	Kelas II	6-9	-	4	3	25	50

Sumber : Hasil Uji Kualitas Air di Laboratorium, 2022

a. Suhu

Suhu merupakan salah satu parameter kualitas air yang sangat penting dikarenakan dapat mempengaruhi komponen biotik, maupun abiotik di ekosistem perairan. Suhu juga menjadi parameter yang kritis karena secara langsung mempengaruhi konsentrasi oksigen terlarut dalam air yang dibutuhkan organisme akuatik (Singh dan Shrivastava, 2015).

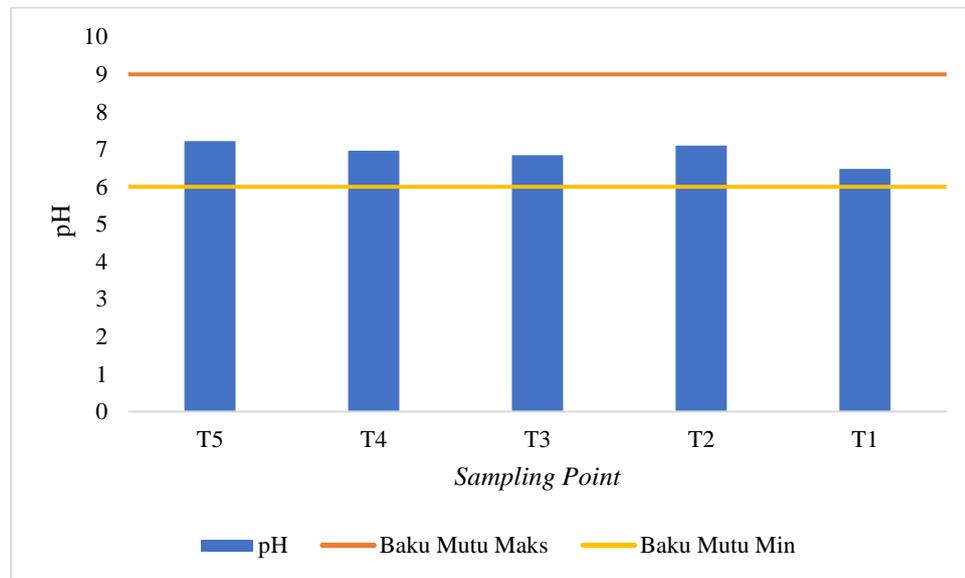


Gambar 20 Grafik Analisa kualitas air parameter suhu Sungai Jeneberang bagian hilir

Berdasarkan gambar menunjukkan fluktuasi suhu air Sungai Jenberang bagian hilir berdasarkan pengukuran lapangan. Rentang suhu air di Sungai Jeneberang bagian hilir yaitu 26 – 30°C. Suhu tertinggi berada pada segmen 5 atau *sampling point* T1 dengan rata-rata 29,7°C hal ini dikarenakan pada saat sampling dilakukan pada pukul 3 – 4 sore dan suhu terendah berada pada *sampling point* T5 dengan nilai rata-rata 26,7°C. Fluktuasi suhu air sungai sangat dipengaruhi oleh musim, lokasi, waktu sampling dan suhu air limbah yang masuk ke sungai (Ahipathy dan Puttiah, 2006).

b. pH

pH (potensial hidrogen) atau derajat keasaman merupakan ukuran konsentrasi ion hidrogen yang terdapat di air. Pengukuran pH menunjukkan tingkat keasaman atau kebasaan air sehingga penting dilakukan pengujian karena pH dapat mempengaruhi tingkat kelarutan dan keberadaan nutrient, serta bagaimana nutrient dapat digunakan oleh organisme akuatik (Singh dan Shrivastava, 2015).

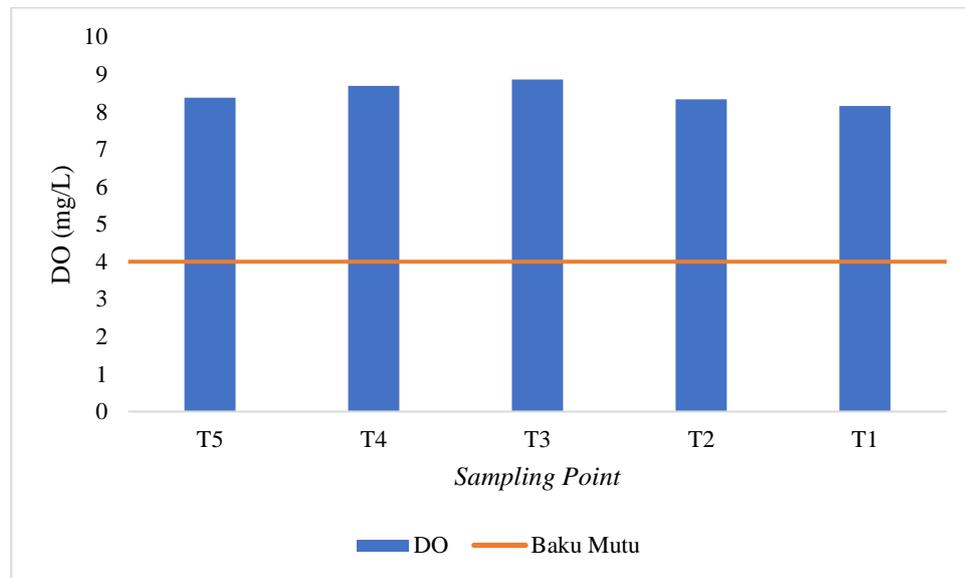


Gambar 21 Grafik analisa kualitas air parameter PH Sungai Jeneberang bagian hilir

Dari Gambar 21 diatas menunjukkan bahwa nilai pH setiap segmen bervariasi dengan rentang 6,48 – 7,22, nilai pH setiap segmen berada dibawah baku mutu air kelas II Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 yaitu berada pada kisaran 6 – 9. Artinya untuk parameter pH setiap segmen di Sungai Jeneberang bagian hilir masih memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan.

c. *Dissolved Oxygen (DO)*

Parameter oksigen terlarut merupakan indikator utama yang digunakan untuk menunjukkan tingkat kesegaran air sebagai akibat dari pencemaran air oleh parameter organik. Semakin tinggi kandungan bahan organik diperairan semakin banyak oksigen yang digunakan untuk proses dekomposisi bahan organik. Kadar oksigen terlarut berfluktuasi secara harian dan musiman tergantung pada pencampuran (*mixing*) dan pergerakan (*turbulence*) massa air, aktifitas fotosintesis, respirasi dari limbah yang masuk ke badan air (Effendi, 2003).

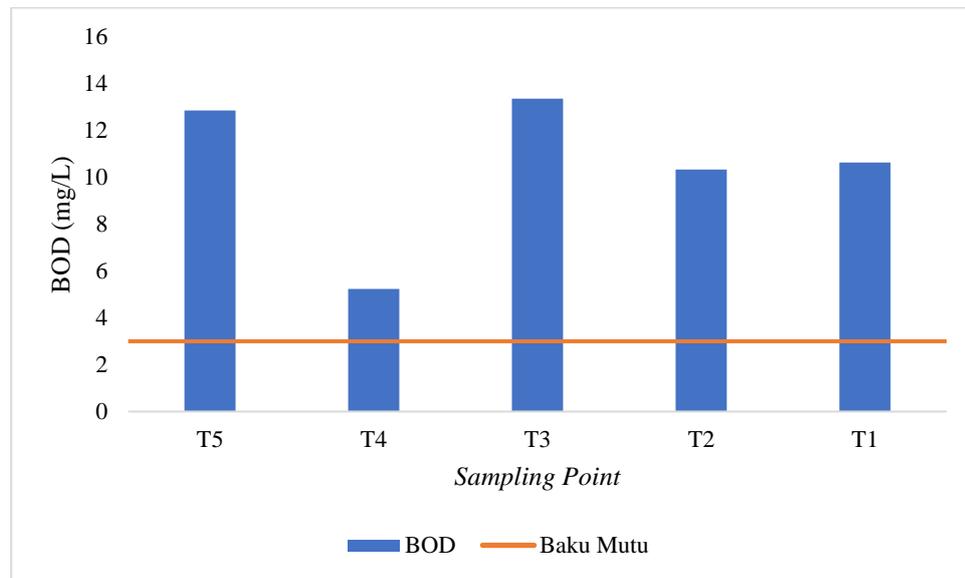


Gambar 22 Grafik Analisa kualitas air parameter DO di Sungai Jeneberang bagian hilir

Pada Gambar 22 memperlihatkan nilai DO yang berfluktuasi pada setiap segmen dengan kisaran 8,16 – 8,86 mg/L. Nilai DO tertinggi berada pada *sampling point* T3 sebesar 8,86 mg/L dan nilai terendah DO berada pada *sampling point* T1 sebesar 8,16 mg/L. Konsentrasi DO pada sungai menunjukkan bahwa kehidupan biota air masih dapat berlangsung normal. Kondisi DO aktual pada perairan bergantung pada zat pencemar organik (*biodegradable*) yang masuk ke badan air. Semakin banyak zat pencemar tersebut semakin DO berkurang dan defisit oksigen meningkat. Grafik penurunan oksigen terlarut pada stasiun T3 hingga stasiun T1 di atas menggambarkan terjadinya pemurnian alami kandungan oksigen terlarut di Sungai Jeneberang bagian hilir.

d. *Biological Oxygen Demand* (BOD)

Parameter BOD merupakan jumlah oksigen (mg/l) yang dibutuhkan oleh bakteri aerob untuk menguraikan hampir semua zat organik terlarut dan beberapa zat yang tersuspensi dalam air secara biologis. Semakin tinggi nilai BOD mengindikasikan semakin banyak kandungan bahan organik diperairan.



Gambar 23 Grafik Analisa kualitas air parameter BOD Sungai Jeneberang bagian hilir

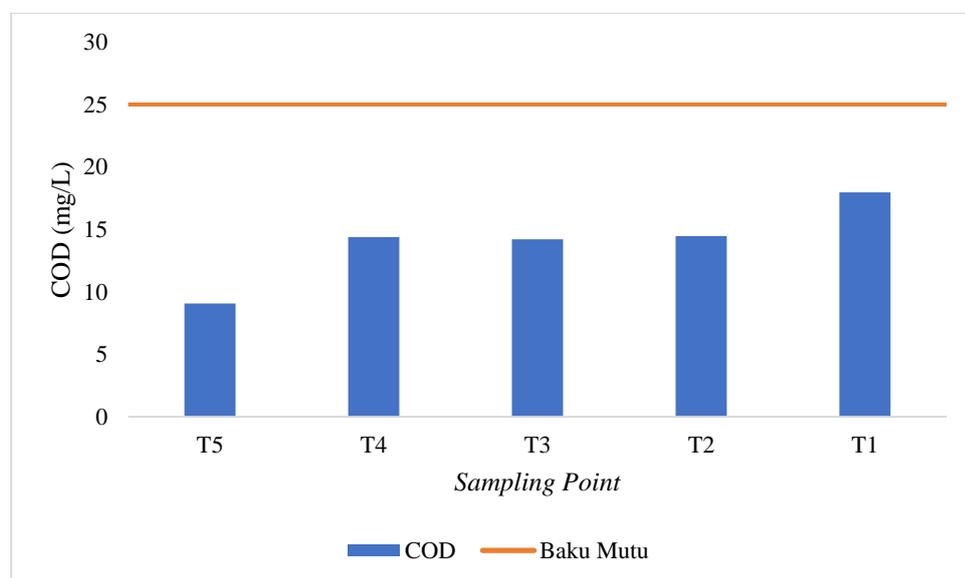
Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai BOD antar titik pengamatan memiliki kondisi yang fluktuatif. Nilai BOD Sungai Jeneberang bagian hilir pada 5 titik pengamatan berkisar antara 5,28 mg/L dan 13,36 mg/L. Nilai BOD tertinggi terdapat pada titik T3 dan nilai BOD terendah terdapat pada titik T4. BOD yang melebihi baku mutu dapat diakibatkan oleh adanya aktivitas antropogenik di sekitar sungai.

Data pengukuran nilai BOD di perairan Sungai Jeneberang hilir terlihat adanya perbedaan nilai BOD di setiap lokasi karena perbedaan besarnya beban pencemar dan jarak antar segmen sehingga berbeda pula besar limbah yang masuk kedalam badan sungai. Nilai BOD yang tinggi ada pada titik T3 disebabkan karena adanya beberapa pabrik tahu dan tempe tepat di pinggiran Sungai Jeneberang yang membuang limbah cairnya ke badan sungai. Nilai BOD yang tinggi secara langsung mencerminkan tingginya kegiatan mikroorganisme di dalam air dan secara tidak langsung memberikan petunjuk tentang kandungan bahan-bahan organik yang tersuspensikan. Konsentrasi BOD mengalami penurunan hingga ke hilir sebagai akibat proses pemurnian alami (*self-purification*) yang ditandai dengan debit yang semakin ke hilir

semakin besar karena debit sungai yang besar akan mempercepat proses purifikasi.

e. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

Nilai konsentrasi COD mengindikasikan bahan organik yang sulit terurai. Semakin tinggi nilai perbandingan COD semakin tinggi pula tingkat biodegradabilitas polutan limbah cair tersebut. Nilai COD dijadikan untuk pengukuran cemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasikan melalui proses mikrobiologis, dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut di dalam air.



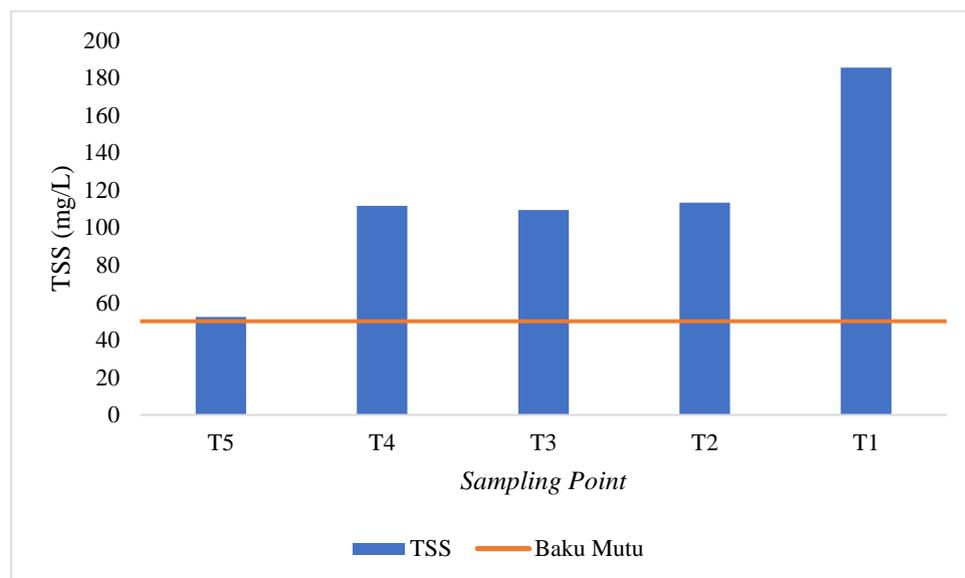
Gambar 24 Grafik Analisa kualitas air parameter COD di Sungai Jeneberang bagian hilir

Dari Gambar 24 diatas, dapat terlihat dari titik pemantauan T5 sampai T1 Sungai Jeneberang bagian hilir masih berada dibawah baku mutu kelas II untuk parameter COD. Konsentrasi COD tertinggi berada pada titik T1 dengan nilai 17,97 mg/L dan konsentrasi terendah berada pada titik T5 dengan nilai 9,08 mg/L. Hal ini mengindikasikan bahwa pada titik T1 merupakan tempat akumulasi beban pencemar COD dari titik-titik sebelumnya. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa konsentrasi COD lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi BOD. Hal ini terjadi karena terdapat senyawa khusus yang stabil di

reaksi biologis yang hanya dapat dioksidasi dalam COD. Adapun beberapa contoh komponen senyawa khusus yang tidak dapat terukur oleh BOD dan terdeteksi pada analisis COD adalah sukrosa (Arief, 2014). Fardiaz (1992) pada penelitiannya mengungkapkan bahwa 96% nilai COD selama 10 menit setara dengan nilai BOD selama 5 hari.

f. *Total Suspended Solid (TSS)*

TSS (*Total Suspended Solids*) atau padatan tersuspensi total adalah material tersuspensi dengan diameter lebih dari 1 m yang tertahan dalam filter Millipore dengan diameter pori 0,5 m. TSS terdiri dari lumpur dan pasir halus serta mikroorganisme. Sumber utama TSS di perairan adalah erosi tanah atau erosi tanah yang terbawa ke badan air (Girard, 2010).



Gambar 25 Grafik Analisa kualitas air parameter TSS di Sungai Jeneberang bagian hilir

Pada Gambar 25 terlihat konsentrasi TSS meningkat untuk setiap titik pengamatan. Konsentrasi TSS paling rendah terdapat pada titik pengamatan T5 dengan nilai 52,33 mg/L dikarenakan pada titik ini merupakan segmen dengan jarak terpanjang dan debit yang paling kecil diantara segmen lainnya. Konsentrasi TSS paling tinggi pada segmen 5, T1 yaitu bagian hilir dengan nilai

185,33 mg/L. Titik ini merupakan akumulasi padatan yang dibawa dari hulu dan mengendap di bagian hilir.

4.2.3 Penentuan Status Mutu dengan Metode Indeks Pencemaran

Metode Indeks Pencemaran (IP) merupakan perhitungan relatif antara hasil observasi lapangan terhadap baku mutu yang berlaku pada analisis kualitas air. Metode ini tercantum dalam Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 115 Tahun 2003. Nilai IP menunjukkan tingkat pencemaran yang bersifat relatif terhadap baku mutu air yang dipersyaratkan pada sumber air.

Tabel 16 Perhitungan metode indeks pencemaran (IP)

Sampling Point	Parameter	Ci	Lij	Ci/Lij	Ci/Lij baru
T5	pH	7,22	6-9	0,96	0,96
	Suhu	27	Deviasi 3	1,07	1,14
	DO	8,38	4	2,10	2,61
	BOD	12,86	3	4,29	4,16
	COD	9,08	25	0,36	0,36
	TSS	52,33	50	1,05	1,10

Sumber: Hasil Perhitungan 2023

Berikut contoh perhitungan status mutu kualitas air Sungai Jeneberang bagian hilir untuk parameter BOD menggunakan metode indeks pencemaran pada Stasiun 5 segmen 1.

Untuk Parameter BOD,

$$\frac{Ci}{Lij} = \frac{12.86}{3} = 4,29$$

Karena nilai $\frac{Ci}{Lij} > 1$, sehingga perlu dihitung kembali nilai $\frac{Ci}{Lij}$ baru.

$$\frac{Ci}{Lij} \text{ baru} = 1 + (5 \times \log (4,29)) = 4,16$$

Hasil perhitungan IP pada T5 (segmen 1) maka didapatkan hasil perhitungan yang ditunjukkan pada Tabel 16 Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai rata-rata dan nilai maksimum dari keseluruhan dengan cara sebagai berikut:

(Ci/Lij) rata-rata = 1,72

(Ci/Lij) maks = 4,16

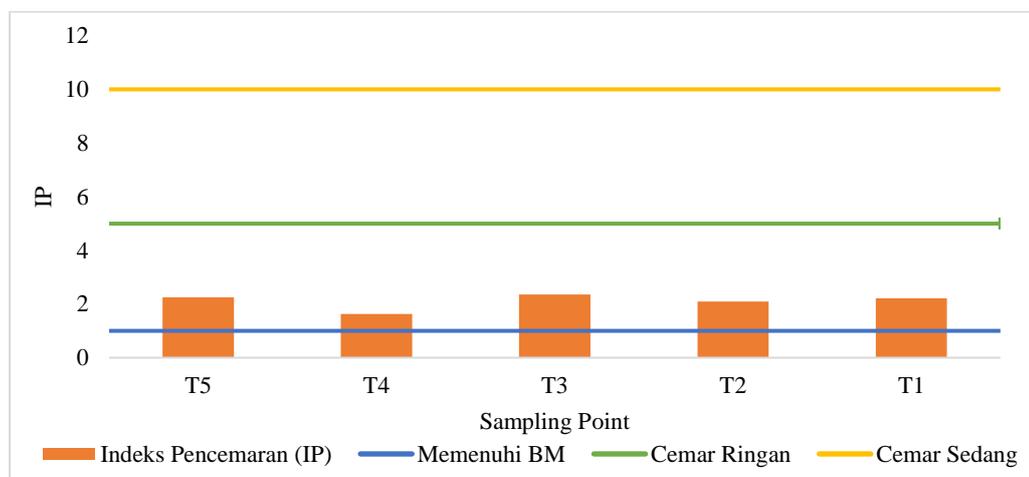
$$IP = \frac{\sqrt{(4.16^2 + 1.72^2)}}{2} = 2,25 \text{ (cemar ringan)}$$

Berikut merupakan hasil rekapitulasi perhitungan status mutu air Sungai Jeneberang bagian hilir di 5 stasiun menggunakan metode indeks pencemar yang ditunjukkan pada Tabel 17 berikut.

Tabel 17 Indeks Pencemaran Sungai Jeneberang Hilir

Sampling Point	Lokasi	Jarak (km)	Indeks Pencemaran (IP)	
			Kelas II	Kategori
T5	Towata, Kab. Takalar	0	2,25	Cemar Ringan
T4	Borongloe, Kab. Gowa	13,8	1,63	Cemar Ringan
T3	Tompobalang Kab. Gowa	19,99	2,36	Cemar Ringan
T2	Pandang-pandang Kab. Gowa	23,24	2,09	Cemar Ringan
T1	Barombong, Kota Makassar	29,51	2,21	Cemar Ringan
	Rata-rata		2,11	Cemar Ringan

Sumber: Hasil Perhitungan 2023

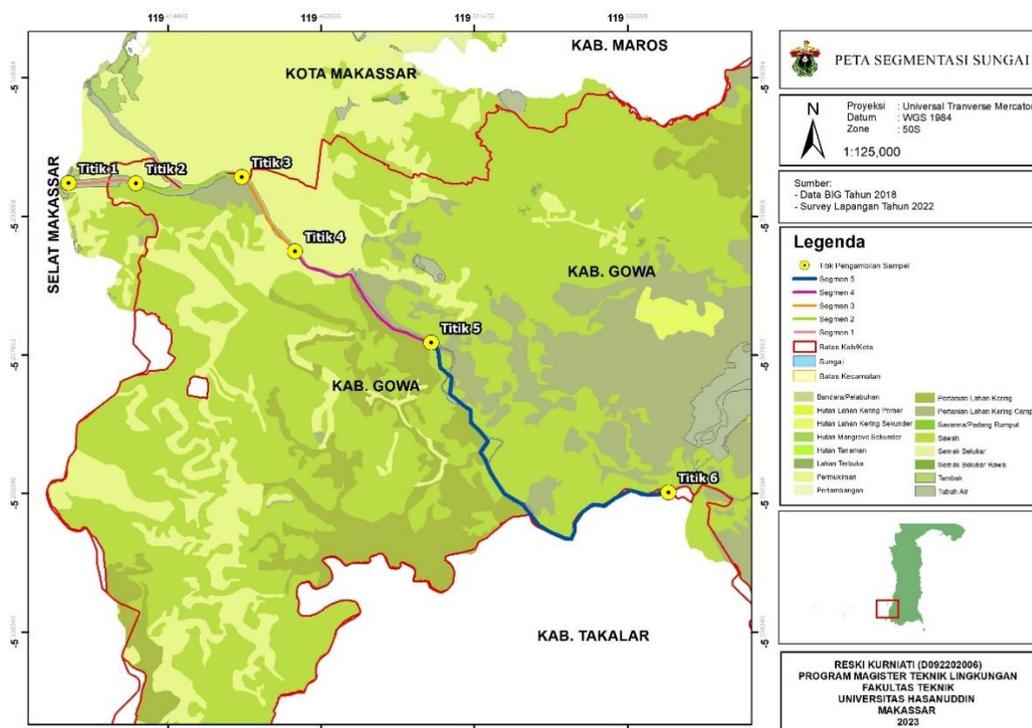


Gambar 26 Sebaran indeks pencemaran di Sungai Jeneberang bagian hilir

Gambar diatas menunjukkan bahwa seluruh bagian di Sungai Jeneberang bagian hilir berdasarkan parameter pH, suhu, DO, BOD, COD, dan TSS jika menggunakan baku mutu kelas II sebagai patokan maka termasuk dalam kategori cemar ringan. Secara keseluruhan, Sungai Jeneberang bagian hilir tercemar ringan dari hulu (T5) hingga ke hilir (T1). Parameter yang dihitung dalam penentuan status mutu air ini hanya menggunakan 6 (enam) parameter utama untuk pemantauan pencemaran kualitas air, namun mungkin saja status akan berubah apabila menggunakan banyak parameter kedalam perhitungan. Parameter kualitas air yang digunakan adalah suhu, pH, DO (*Dissolved Oxygen*), BOD (*Biological Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand* dan TSS (*Total Suspended Solid*).

4.3 Identifikasi Potensi Beban Pencemaran Sungai Jeneberang Hilir

Identifikasi potensi beban pencemar Sungai Jeneberang dilakukan berdasarkan peta tata guna lahan yang didapatkan dari instansi terkait. Peta penggunaan lahan bantaran Sungai Jeneberang dapat dilihat pada Gambar 27 berikut.



Gambar 27 Peta Penggunaan lahan di sekitar Sungai Jeneberang bagian hilir

Beban pencemaran yang masuk ke Sungai Jeneberang bagian hilir dapat diketahui melalui inventarisasi sumber pencemar air. Sumber pencemar air memerlukan data dan informasi untuk mengenali dan mengelompokkan serta memperkirakan besaran dari sumber pencemar air.

4.3.1 Beban Pencemaran dari *Non-Point Source* (NPS)

1. Potensi Beban Pencemaran dari Permukiman (Domestik)

Potensi beban pencemar yang berasal dari permukiman diasumsikan sebagai beban yang dihasilkan dari aktivitas penduduk atau disebut juga dengan limbah domestik. Sebagian besar wilayah di Kab. Gowa dan sebagian wilayah Kota Makassar belum memiliki sanitasi limbah yang layak sehingga limbah cair dari kegiatan domestik langsung dibuang ke sungai. Apalagi rumah-rumah yang memang berlokasi di pinggir sungai.

Berikut pada Tabel 18 merupakan data jumlah penduduk dan persentase wilayah tiap kecamatan di cakupan wilayah Sungai Jeneberang bagian hilir menggunakan data Tahun 2021.

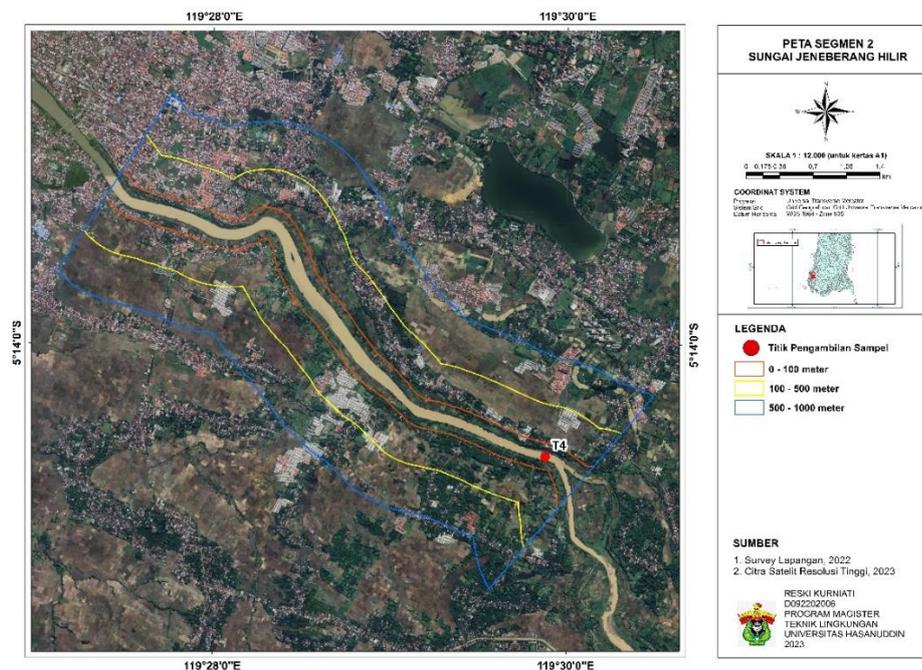
Tabel 18 Jumlah Penduduk dan presentasi wilayah tiap segmen Tahun 2021

Sub-DAS Jeneberang Hilir	Kecamatan	Jumlah Penduduk (jiwa)	Persentase Wilayah (%)
Kab. Takalar	Polombangkeng Utara	31	12,22
Kab. Gowa	Bajeng	21	1,55
	Barombong	1049	7,79
	Bontomarannu	308	27,39
	Manuju	2	1,04
	Pallangga	2163	26,24
	Somba Opu	2494	10,77
Kota Makassar	Tamalate	6365	13,00
Jumlah		12433	100%

Sumber; Hasil Perhitungan 2023

Beban pencemar domestik dihitung dengan membuat interval 0 - 100 m, 100 – 500 m dan 500 – 1000 m dari pinggir/tepi sungai kiri dan kanan, setelah

didapatkan hasil cakupan wilayah (*catchment area*) Sungai Jeneberang bagian hilir, selanjutnya mengidentifikasi setiap desa/kelurahan, kecamatan, yang masuk kedalam cakupan wilayah. Kemudian dari kepadatan penduduk tiap desa/kelurahan ataupun kecamatan untuk setiap segmen dikalikan dengan hasil estimasi luas permukiman sehingga didapatkan jumlah penduduk. Untuk mendapatkan jumlah beban pencemar dikalikan dengan faktor emisi untuk masing-masing parameter. Perhitungan beban pencemar dipisah berdasarkan lokasi segmen. Berikut contoh perhitungan jumlah penduduk untuk kecamatan yang masuk kedalam *catchment area* pada segmen 2.



Gambar 28 *Catchment area* pada Segmen 2

Setelah dilakukan pengumpulan data untuk luas wilayah dan jumlah penduduk setiap kecamatan yang membuang limbah domestiknya ke Sungai Jeneberang bagian hilir, dilakukan perhitungan jumlah beban pencemar. Pertama yang harus dilakukan adalah mendigitasi wilayah area penduduk yang berada pada jarak 0 – 100 m, 100 – 500 m, dan 500 – 1000 m dari pinggir/tepi Sungai Jeneberang bagian hilir. Kedua, menghitung presentase wilayah kecamatan yang masuk ke dalam cakupan wilayah (pada jarak 0 – 100 m, 100 – 500 m, dan 500 –

1000 m dari pinggiran/tepi sungai). Kemudian menghitung jumlah penduduk dengan cara mengalikan kepadatan penduduk per km² dengan persentase wilayah serta mengalikan dengan nilai α yaitu, nilai koefisien transfer beban.

Kecamatan yang masuk kedalam segmen 2 adalah Bontomarannu, Pallangga, dan Somba Opu. Jumlah penduduk di Kecamatan Bontomarannu yang berjarak 0 – 100 m dari tepi Sungai Jeneberang.

$$\begin{aligned} JP &= \text{kepadatan per km}^2 \times \text{persentase wilayah} \times \alpha \\ &= 4674 \times 0,42 \times 1 = 1963 \text{ jiwa} \end{aligned}$$

Selanjutnya dihitung untuk jumlah penduduk di semua kecamatan yang masuk kedalam segmen 2 dan dijumlahkan.

Kemudian menghitung jumlah beban pencemar parameter BOD untuk segmen 2 yang berjarak 0 – 100 m dari tepi sungai, sebagai berikut:

Beban pencemar BOD di Segmen 2

$$\begin{aligned} \text{BOD} &= (\text{jumlah penduduk pada segmen 2} \times \text{faktor emisi BOD} \times \text{Rasio Equivalen} \\ &\quad \times \alpha) / 1000 \\ &= (147 \times 40 \times 0,8125 \times 1) / 1000 = 4,77 \text{ mg/L (jarak 0–100 m)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BOD} &= (\text{jumlah penduduk pada segmen 2} \times \text{faktor emisi BOD} \times \text{Rasio Equivalen} \\ &\quad \times \alpha) / 1000 \\ &= (1216 \times 40 \times 0,8125 \times 0,85) / 1000 = 33,59 \text{ mg/L (jarak 100–500 m)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BOD} &= (\text{jumlah penduduk pada segmen 2} \times \text{faktor emisi BOD} \times \text{Rasio Equivalen} \\ &\quad \times \alpha) / 1000 \\ &= (476 \times 40 \times 0,8125 \times 0,3) / 1000 = 4,64 \text{ mg/L (jarak 500–1000 m)} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, beban pencemar tertinggi Sungai Jeneberang Hilir terdapat pada segmen 5 yaitu nilai konsentrasi BOD 104,42 kg/hari, COD 143,58 kg/hari dan TSS 99,20 kg/hari. Segmen 5 merupakan nilai beban pencemar tertinggi untuk sektor domestik karena segmen 5 berada di wilayah

dengan kepadatan penduduk tertinggi. Berikut tabel rekapan beban pencemar BOD, COD dan TSS di 5 segmen Sungai Jeneberang Hilir yang disajikan pada Tabel 19.

Tabel 19 Hasil Perhitungan beban pencemaran dari aktivitas permukiman

Lokasi	BOD (kg/hari)	COD (kg/hari)	TSS (kg/hari)
Segmen 1	18,26	25,10	17,34
Segmen 2	43,00	59,13	40,85
Segmen 3	72,67	99,92	69,04
Segmen 4	79,83	109,76	75,84
Segmen 5	104,42	143,58	99,20
Total	318,18	437,49	302,27

Sumber: Hasil Perhitungan, 2023

2. Potensi Beban Pencemar dari Pertanian

Perhitungan potensi beban pencemar pertanian diperlukan data luas pertanian dan faktor emisi limbah untuk parameter yang berpengaruh terhadap limbah cair yang dihasilkan. Data luas lahan pertanian didapatkan dari peta tutupan lahan Kabupaten Gowa, Kabupaten Takalar, dan Kota Makassar yang kemudian mengumpulkan luas lahan pertanian yang berada di 1000 m dari bantaran Sungai Jeneberang bagian hilir. Sementara itu faktor emisi parameter pencemaran pertanian diperoleh dari penelitian Balai Lingkungan Keairan, PUSLITBANG SDA, Kementerian Pekerjaan Umum/PU (2004). Beban pencemaran dari aktivitas pertanian setiap hari dan dibagi dengan jumlah hari tanam. Contoh perhitungan beban pencemaran yang diakibatkan oleh aktivitas pertanian adalah sebagai berikut.

a. Potensi beban pencemar dari lahan sawah (PBP sawah)

Luas lahan sawah segmen 2 = 456 ha

Emisi BOD ssawah = 225 kg/ha/musim tanam/hari

$$\text{PBP Sawah} = \frac{\text{luas lahan (ha)} \times \text{Faktor Emisi} \left(\frac{\text{kg}}{\text{hari}} \right) \times 10\%}{\text{musim tanam}}$$

$$= \frac{456 \times 225 \times 10\%}{30}$$

$$= 342 \text{ kg/hari}$$

b. Potensi beban pencemar dari lahan ladang (PBP ladang)

Luas lahan sawah segmen 2 = 377 ha

Emisi BOD Ladang = 125 kg/ha/musim tanam/hari

PBP Ladang = luas lahan (ha) × FE (kg/hari) × 1%
 = 377 × 125 × 1%
 = 15,7 kg/hari

Total PBP BOD Pertanian = PBP Sawah + PBP Ladang
 = 342,11 kg/hari + 15,7kg/hari
 = 357,8 kg/hari

Untuk perhitungan parameter COD dan TSS dikalikan dengan faktor emisi masing-masing parameter. Dari hasil perhitungan diperoleh tabel rekap beban pencemaran dari aktivitas pertanian untuk parameter BOD, COD, dan TSS disajikan pada Tabel 20.

Tabel 20 Hasil perhitungan beban pencemaran dari aktivitas pertanian

Lokasi	BOD (kg/hari)	COD (kg/hari)	TSS (kg/hari)
Segmen 1	1.029,03	1.543,52	2,38
Segmen 2	357,81	536,71	0,48
Segmen 3	65,94	98,91	0,16
Segmen 4	154,15	231,22	0,62
Segmen 5	59,73	89,59	0,12
Total	1.666,65	2.499,95	3,76

Sumber: Hasil Perhitungan 2023

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, diperoleh total beban pencemar aktivitas pertanian Sungai Jeneberang bagian hilir yaitu BOD 1.666,65 kg/hari, COD 2.499,95 kg/hari, dan TSS 3,76 kg/hari. Dengan segmen 1 sebagai segmen

yang memiliki beban pencemaran dari aktivitas pertanian paling tinggi dibanding dengan segmen lainnya. Dan segmen 5 merupakan segmen dengan nilai beban pencemaran dari aktivitas pertanian paling rendah dikarenakan pada segmen 5 hanya didominasi dengan perumahan warga.

3. Potensi Beban Pencemar Industri Kecil

Potensi beban pencemaran dari industri kecil yang dihitung adalah dari pabrik tahu dan tempe. Perhitungan dilakukan dengan mengalikan jumlah bahan baku yang digunakan dengan faktor emisi untuk tiap parameter pencemaran.

Berikut contoh perhitungan beban pencemaran hasil dari aktivitas pabrik tahu dan tempe.

$$PBPT = \frac{\text{Jumlah bahan baku} \times FE}{1000}$$

$$PBPT \text{ TH 1 BOD} = \frac{500 \times 50}{1000} = 25 \text{ kg/hari}$$

Hasil rekapitulasi perhitungan beban pencemaran dari aktivitas pabrik tahu dan tempe untuk parameter BOD, COD, dan TSS disajikan pada Tabel 21.

Tabel 21 Perhitungan Beban Pencemaran dari aktivitas industri kecil

Lokasi	Kode Pabrik Tahu & Tempe	BOD (kg/hari)	COD (kg/hari)	TSS (kg/hari)
Segmen 3	TH 1	25	55	4,5
	TH 2	75	165	13,5
	TH 3	42,5	93,5	7,65
	TH 4	50	110	9
	TH 5	30	66	5,4
	TH 6	25	55	4,5
Jumlah		247,5	544,5	44,55

Sumber: Hasil Perhitungan 2023

Berdasarkan hasil perhitungan beban pencemaran dari aktivitas pabrik tahu dan tempe yang masuk kedalam segmen 3 adalah konsentrasi BOD 247,5 kg/hari,

COD 544,5 kg/hari dan TSS 44,55 kg/hari dengan penyumbang terbesar ada pada pabrik tahu kode TH 2 yang menyumbang BOD 75 kg/hari, COD 165 kg/hari, dan TSS 13,5 kg/hari.

4.3.2 Beban Pencemaran dari *Point Source* (PS)

Beban pencemaran dari *point source* adalah beban pencemaran yang berasal dari satu titik pembuangan. Perhitungan beban pencemaran *point source* pada penelitian ini berasal dari limbah cair PDAM. Terdapat dua PDAM yang sumber airnya berasal dari Sungai Jeneberang bagian hilir dan juga membuang air limbahnya ke Sungai Jeneberang bagian hilir. Berikut PDAM yang membuang limbahnya ke Sungai Jeneberang bagian Hilir disajikan pada Tabel 22.

Tabel 22 *Point Source* di sekitar Sungai Jeneberang bagian hilir

Kode Industri	Jenis Industri	Lokasi	Segmen	Debit Air Limbah (m ³ /detik)
IPA Pandang-Pandang	PDAM	Kec. Somba Opu Kab. Gowa	Segmen 3	1,67
IKK Barombong	PDAM	Kec. Barombong Kab. Gowa	Segmen 4	0,61

Sumber: PDAM Tirta Jeneberang Kab. Gowa 2022

Tabel 23 Beban pencemaran dari aktivitas PDAM di sekitar Sungai Jeneberang bagian hilir

Segmen	Kode Industri	BOD (kg/hari)	COD (kg/hari)	TSS (kg/hari)
3	PDAM 1	42,48	46,59	347,66
4	PDAM 2	11,84	15,37	131,05
Total		54,32	61,96	478,70

Sumber: Hasil Perhitungan 2023

Perhitungan untuk parameter BOD, COD dan TSS dilakukan dengan mengalikan konsentrasi tiap parameter dengan debit, kapasitas produksi dan waktu

operasional. Berikut tabel rekap beban pencemaran industri untuk parameter BOD, COD dan TSS pada segmen 1 disajikan pada Tabel 23.

4.4 Total Potensi Beban Pencemar

4.4.1 Beban Pencemar BOD

Berdasarkan hasil perhitungan dan keseluruhan data makan dapat diketahui limbah BOD dari *non-point source* dan *point source* yang masuk ke Sungai Jeneberang bagian hilir disajikan pada Tabel 24.

Tabel 24 Limbah BOD dari *non-point source* dan *point source*

Segmen	Limbah BOD (kg/hari)				Total (kg/hari)
	Domestik (NPS)	Pertanian (NPS)	Industri kecil (NPS)	PDAM (PS)	
Segmen 1	18,26	1.029,03	0	0	1.047,29
Segmen 2	43,00	357,81	0	0	400,81
Segmen 3	72,67	65,94	247,50	42,48	428,59
Segmen 4	79,83	154,15	0	11,84	245,82
Segmen 5	104,42	59,73	0	0	164,15
Jumlah	318,18	1.666,65	247,50	54,32	2.286,66
Presentase (%)	13,91%	72,89%	10,82%	2,38%	100%

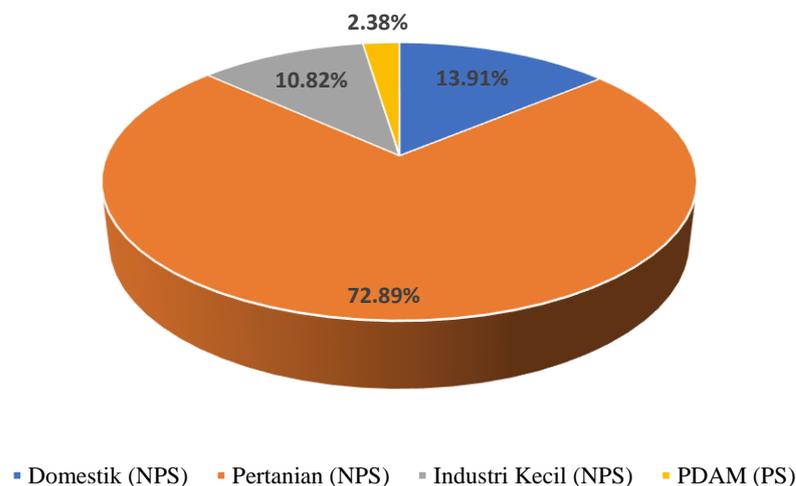
Sumber: Hasil Perhitungan 2023

Berdasarkan pada Tabel 24 dapat diketahui bahwa hasil limbah BOD berdasarkan dari beban pencemaran dari *non-point source* dan *point source* bahwa dari sektor pertanian menempati presentasi paling tinggi sebesar 72,89% yang mencapai 1.666,65 kg/hari. Secara umum, beban pencemaran dari *non-point source* dan *point source* untuk parameter BOD paling tinggi terdapat pada segmen 1 mencapai 1.047,29 kg/hari.

Pada Gambar 29 presentase sumber pencemar di wilayah penelitian bahwa sektor pertanian menempati sumber pencemar BOD tertinggi di sekitar Sungai

Jeneberang bagian hilir. Tingginya pencemaran pada lokasi ini diakibatkan segmen 1 dan segmen 2 di dominasi dengan aktivitas pertanian. Luas lahan pertanian pada segmen 1 dan segmen 2 yang masuk kedalam *catchment area* masing-masing adalah 2.498,43 Ha dan 832,86 Ha.

Semakin besar nilai BOD dalam aliran sungai maka dapat dipastikan juga semakin tinggi tingkat pencemaran air oleh bahan-bahan organik, termasuk penyumbangannya dari sektor pertanian. Beban pencemaran atau limbah pertanian ini merupakan bahan yang dibuang dari sektor pertanian yang dapat berbentuk bahan tidak terpakai maupun bahan dari sisa-sisa kegiatan pertanian.



Gambar 29 Persentase sumber pencemar BOD di lokasi penelitian

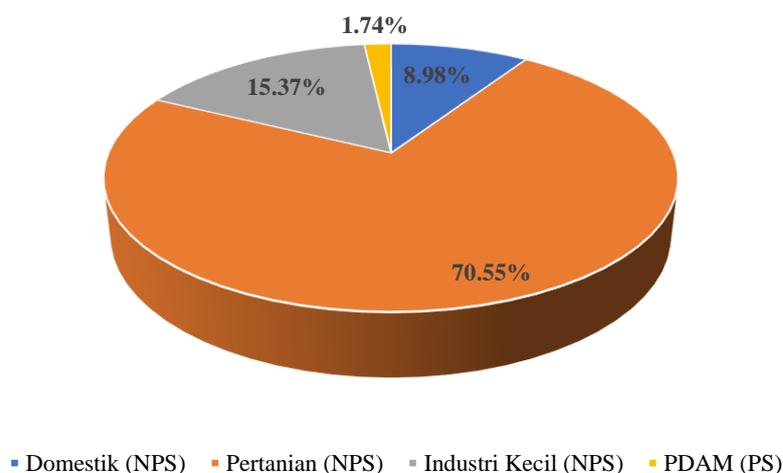
4.4.2 Beban Pencemar COD

COD (*Chemical Oxygen Demand*) adalah banyaknya oksigen yang digunakan sebagai media pengurai semua bahan organik yang terdapat pada air. Berdasarkan Tabel 24 dapat diketahui bahwa hasil limbah COD berdasarkan beban pencemaran dari *non-point source* dan *point source* dari sektor pertanian menempati presentase tertinggi 70,55% sebesar 2.499,98% kg/hari. Secara umum, beban pencemaran dari *non-point source* dan *point source* untuk parameter COD paling tinggi terdapat pada segmen 1.

Tabel 25 Limbah COD dari *non-point source* dan *point source*

Segmen	Limbah COD (kg/hari)				Total (kg/hari)
	Domestik (NPS)	Pertanian (NPS)	Industri kecil (NPS)	PDAM (PS)	
Segmen 1	25,10	1.543,52	0	0	1.568,62
Segmen 2	59,13	536,71	0	0	595,84
Segmen 3	99,92	98,91	544,50	46,59	789,42
Segmen 4	109,76	231,23	0	15,37	356,36
Segmen 5	143,58	89,59	0	0	233,17
Jumlah	318,18	2.499,98	544,50	61,69	3543,41
Presentase (%)	8,98%	70,55%	15,37%	1,74%	100%

Sumber: Hasil Perhitungan 2023

**Gambar 30** Persentase sumber pencemar COD di lokasi penelitian

4.4.3 Beban Pencemar TSS

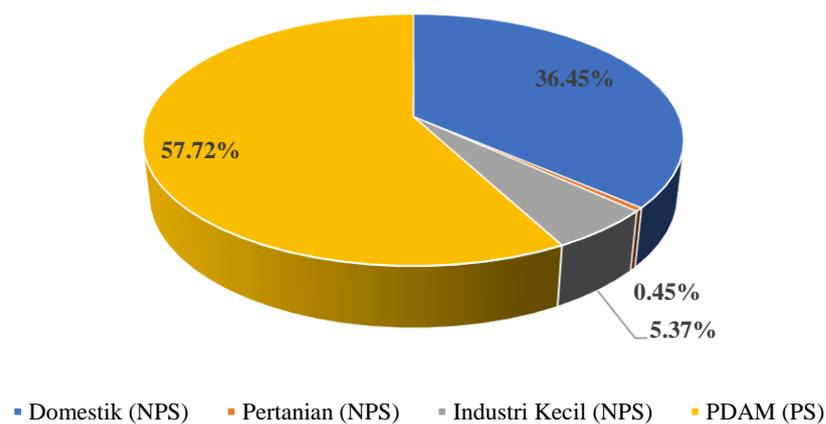
TSS (*Total Suspended Solid*) atau padatan tersuspensi total adalah material tersuspensi dengan diameter lebih dari 1 m yang tertahan dalam filter dengan diameter pori 0,5 m. TSS terdiri dari lumpur dan pasir halus serta mikroorganisme. Sumber utama TSS di perairan adalah erosi tanah yang terbawa ke badan air (Girard, 2010). Hasil perhitungan beban pencemaran TSS memperlihatkan bahwa

sektor yang paling besar menyumbangkan emisinya berasal dari sektor *point source* (PDAM), kemudian sektor domestik, sektor industri kecil dan terakhir dari sektor pertanian.

Tabel 26 Limbah TSS dari *non-point source* dan *point source*

Segmen	Limbah TSS (kg/hari)				Total (kg/hari)
	Domestik (NPS)	Pertanian (NPS)	Industri kecil (NPS)	PDAM (PS)	
Segmen 1	17,34	2,38	0	0	19,72
Segmen 2	40,85	0,48	0	0	41,33
Segmen 3	69,04	0,16	44,55	347,66	461,41
Segmen 4	75,84	0,62	0	131,05	207,51
Segmen 5	99,20	0,12	0	0	99,32
Jumlah	302,27	3,76	44,55	478,70	1.884,77
Presentase (%)	36,45%	0,45%	5,37%	57,72%	100%

Sumber: Hasil Perhitungan 2023



Gambar 31 Persentase sumber pencemar TSS di lokasi penelitian

Segmen yang menyumbang beban pencemaran TSS paling tinggi adalah segmen 3 dengan 461,41 kg/hari. Hal ini terjadi dikarenakan konsentrasi Hal ini terjadi disebabkan pada saat pengambilan sampel uji kualitas air telah terjadi tanah

longsor di daerah pegunungan dua hari sebelumnya sehingga nilai konsentrasi TSS TSS hasil uji laboratorium memiliki nilai yang tinggi yang menjadi pengali untuk menghitung estimasi beban pencemar parameter TSS. Serta pada segmen 3, semua sektor sumber pencemaran menyumbang emisinya ke badan Sungai Jeneberang bagian hilir.

Dari hasil perhitungan potensi beban pencemar yang masuk ke dalam badan Sungai Jeneberang bagian hilir untuk parameter BOD, COD didominasi dari pencemar *non-point source* dibandingkan dari *point source* sedangkan parameter TSS pencemar yang masuk lebih besar dari *point source* dibandingkan *non-point source*.

4.5 Model dan Kalibrasi WASP

Data primer dan data sekunder yang telah diperoleh seperti data hidrolis sungai, data kualitas air Sungai Jeneberang bagian hilir dan sumber pencemarnya diinput ke dalam model WASP untuk mendapatkan hasil sebaran beban pencemar di Sungai Jeneberang bagian hilir. Dalam penginputan segmen, penamaan segmen dimulai dari Segmen 1 dengan *sampling point* T5 yang merupakan bagian hulu dan Segmen 5 dengan *sampling point* T1 adalah hilir dari Sungai Jeneberang. Berikut merupakan data hidrolis Sungai Jeneberang bagian hilir yang diinput ke dalam model WASP.

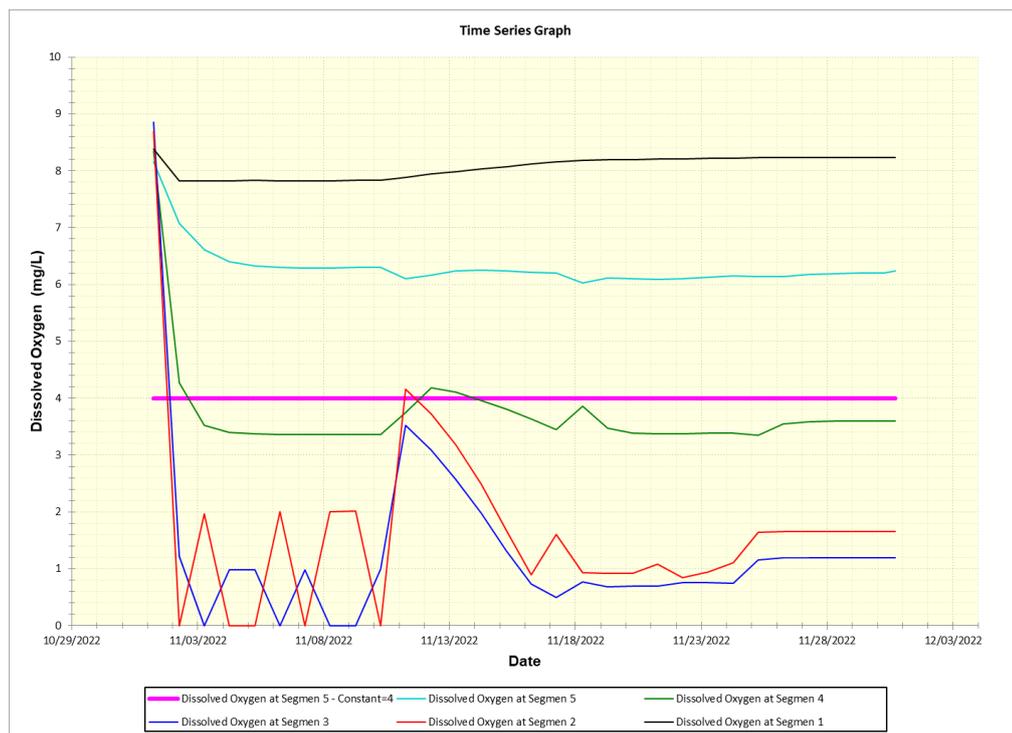
Tabel 27 Hidrolis Sungai Jeneberang bagian hilir

<i>Segment Name</i>	<i>Length (m)</i>	<i>Average width (m)</i>	<i>Slope</i>	<i>Minimum depth</i>	<i>Roughness</i>	<i>Average depth</i>
Segmen 1	13.800	140,5	0,00272	0,25	0,05	0,6467
Segmen 2	6.900	70,9	0,00093	1,8	0,04	2,685
Segmen 3	3.250	86,6	0,00109	2,44	0,04	3,295
Segmen 4	3.870	161	0,00028	1,87	0,04	2,3016
Segmen 5	2.400	207	0,00014	1,7	0,03	2,2983

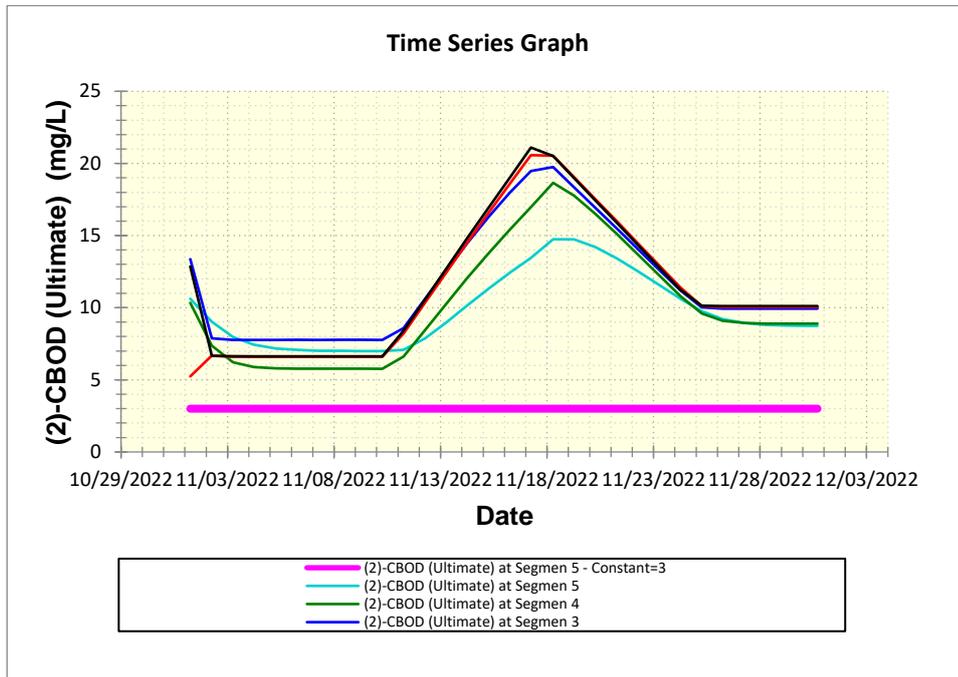
Sumber: Hasil Perhitungan, 2023

Output dari WASP menyajikan kondisi hidrolis dan kualitas air di hilir sungai Jeneberang. Salah satu keuntungan menggunakan WASP adalah

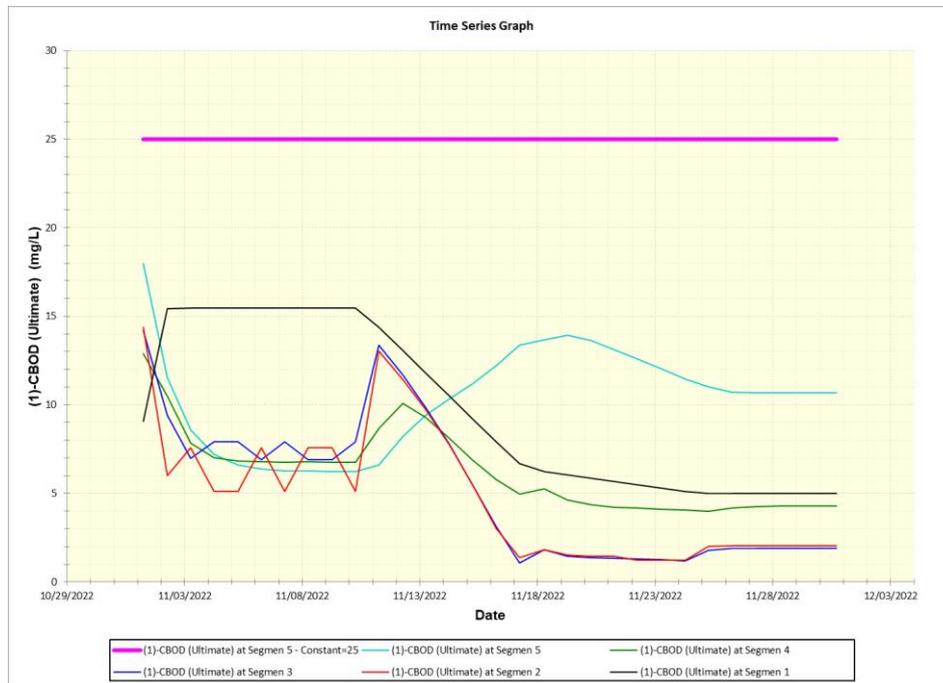
kemungkinan menggabungkan model dengan pengumpulan data waktu nyata untuk mendeteksi perubahan atau gangguan kondisi kualitas air di DAS. Data kualitas air *real-time* dapat digunakan untuk mendeteksi variasi, atau gangguan dari parameter yang diukur. Selain itu, perkiraan dapat digabungkan dengan data untuk mendeteksi perubahan atau gangguan dari variabel kualitas air yang dapat dinilai secara efisien (Mbowongo J, 2018). Sebagai hasilnya, model mensimulasikan konsentrasi parameter kualitas air untuk *point source* (data prediksi dan data pengamatan). Selain itu, dapat dibandingkan konsentrasi-konsentrasi air dan mengamati data dengan standar kualitas air. Data kualitas air ini dikalibrasi dan diverifikasi dengan menguji kesesuaian model dengan kondisi nyata. Berikut adalah hasil model kualitas air menggunakan WASP.



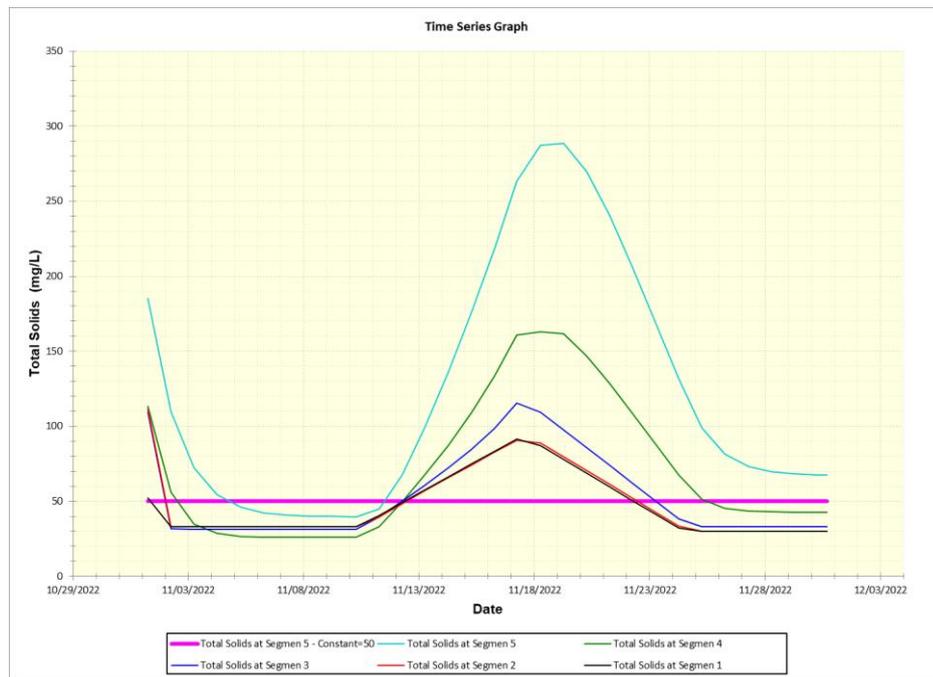
Gambar 32 Grafik hasil model parameter DO



Gambar 33 Grafik hasil model parameter BOD



Gambar 34 Grafik hasil model parameter COD



Gambar 35 Grafik hasil model parameter TSS

4.5.1 Hasil Kalibrasi Model

Kalibrasi model dilakukan dengan tujuan data model mendekati data input yang telah dimasukkan kedalam program. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan waktu dan variasi data. Kalibrasi model yang dilakukan yaitu kalibrasi data kualitas air. Hasil kalibrasi menggunakan *Root Mean Square Error* (RMSE) dan R^2 (koefisien determinasi), apabila hasil RMSE mendekati “0” menunjukkan bahwa model dengan data hasil observasi sangat sesuai. Sedangkan apabila R^2 berada pada rentang 0 sampai 1 maka model dapat diterima, sedangkan apabila nilai RMSE dan R^2 jauh dari syarat minimum maka kalibrasi ulang diperlukan sampai model sesuai dengan hasil observasi (Larico dan Medina, 2019).

1. Kalibrasi DO (*Dissolved Oxygen*)

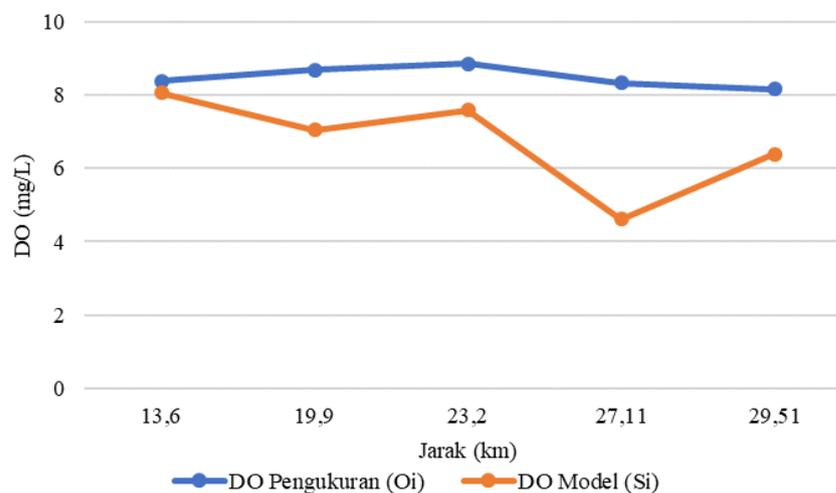
Hasil kalibrasi antara data prediksi (model) dan observasi parameter DO menunjukkan hasil RMSE yaitu 2,07 dan R^2 yaitu 0 dan bernilai negatif yang berarti hasil dari kalibrasi menggunakan RMSE masih mendekati kondisi syarat minimum RMSE mendekati 0, sedangkan nilai R^2 yang sangat besar yang mengindikasikan

adanya *error* pada pemodelan ini dikarenakan kurang seragamnya pembagian segmen sungai dan estimasi perhitungan limbah yang masuk pada tiap-tiap segmen.

Tabel 28 Kalibrasi antara DO pengukuran dan DO model

Jarak (km)	DO Pengukuran (O_i)	DO Model (S_i)	$(O_i - S_i)^2$	$(O_i - O_{\text{mean}})^2$
13.6	8,38	8,07	0,10	0,01
19.9	8,69	7,05	2,69	0,04
23.2	8,86	7,59	1,62	0,14
27.11	8,34	4,61	13,86	0,02
29.51	8,16	6,39	3,12	0,11
Sum	42,42	33,71	21,39	0,32
Avg	8,48	6,74	7,13	0,06
N			5	
RMSE			2,07	
R²			0	

Sumber: Hasil Perhitungan 2023



Gambar 36 Hasil kalibrasi DO pengukuran dan DO model

Adanya error pada hasil ini senada dengan penelitian sungai di Lamtakkong Thailand menggunakan WASP menunjukkan nilai RMSE 1,5 dengan nilai R^2 bernilai negatif, tingginya nilai R^2 dari ketidakseragaman segmen dan perhitungan

dalam mengestimasi limbah (Chuersuwan, 2013). Artinya model tidak dapat diterima meskipun pola model pada grafik sudah mendekati pola hasil pengukuran.

Berdasarkan Gambar 36 hasil dari pengukuran dan model untuk parameter DO menunjukkan pola yang sama yaitu fluktuatif. Namun untuk nilai DO tertinggi hasil perhitungan ada pada jarak 23,2 km atau pada segmen 3 sedangkan untuk DO hasil model nilai tertinggi ada pada jarak 13,6 km km yaitu segmen 1.

2. Kalibrasi BOD (*Biological Oxygen Demand*)

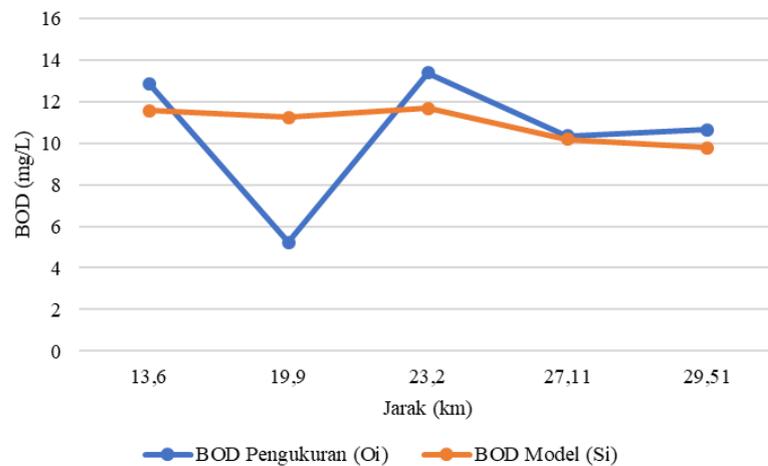
Hasil kalibrasi antara data prediksi (model) dan observasi parameter BOD menunjukkan hasil RMSE yaitu 2,88 dengan nilai R^2 yaitu 0,002 bernilai positif, yang berarti hasil kalibrasi masih mendekati kondisi syarat minimum dan dapat diterima. Sehingga hasil model dapat digunakan untuk analisis selanjutnya.

Tabel 29 Kalibrasi antara BOD pengukuran dan BOD model

Jarak (km)	BOD Pengukuran (O_i)	BOD Model (S_i)	$(O_i - S_i)^2$	$(O_i - O_{\text{mean}})^2$
13,6	12,86	11,55	1,72	5,64
19,9	5,24	11,24	35,99	27,51
23,2	13,36	11,66	2,89	8,26
27,11	10,34	10,19	0,02	0,02
29,51	10,63	9,78	0,72	0,02
sum	52,43	54,42	41,34	41,46
Avg	10,49	10,88	8,27	
N			5	
RMSE			2,88	
R^2			0	

Sumber: Hasil Perhitungan 2023

Berdasarkan Gambar 37 pada km-1 hingga km-29,51, dapat dilihat bahwa konsentrasi pencemar antara hasil pengukuran dan hasil model menunjukkan pola yang hampir sama. Hasil kalibrasi menunjukkan bahwa konsentrasi BOD tertinggi yaitu sama-sama berada pada km ke-23,2. Tingginya konsentrasi tersebut dikarenakan terdapat sumber pencemar yang berasal dari 6 pabrik tahu dan tempe yang membuang limbah cairnya langsung ke Sungai Jeneberang.



Gambar 37 Hasil Kalibrasi BOD pengukuran dan BOD model

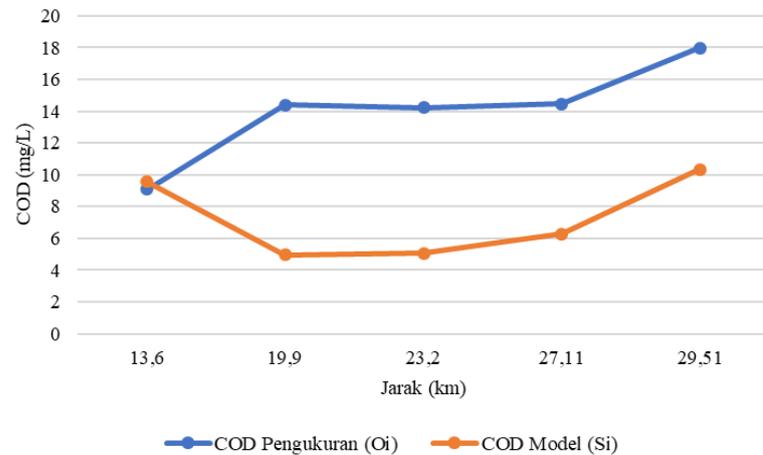
3. Kalibrasi COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Hasil kalibrasi antara data model (prediksi) dan hasil pengukuran parameter COD menunjukkan hasil RMSE yaitu 7,46 yang berarti hasil dari kalibrasi masih mendekati kondisi syarat minimum untuk nilai RMSE masih mendekati 0 sedangkan R^2 yang bernilai negatif mengindikasikan adanya *error* pada pemodelan ini dikarenakan kurang seragamnya pembagian segmen sungai dan estimasi perhitungan limbah yang masuk pada tiap-tiap segmen.

Tabel 30 Hasil kalibrasi antara COD pengukuran dan COD model

Jarak (km)	COD Pengukuran (O_i)	COD Model (S_i)	$(O_i - S_i)^2$	$(O_i - O_{\text{mean}})^2$
13,6	9,08	9,56	0,23	24,41
19,9	14,38	4,96	88,87	0,13
23,2	14,21	5,06	83,84	0,04
27,11	14,46	6,29	66,75	0,19
29,51	17,97	10,34	58,15	15,57
sum	70,10		297,84	40,34
Avg	14,02		59,57	
N			5	
RMSE			7,72	
R²			0	

Sumber: Hasil Perhitungan 2023



Gambar 38 Hasil kalibrasi COD pengukuran dan COD model

4. Kalibrasi TSS (*Total Suspended Solid*)

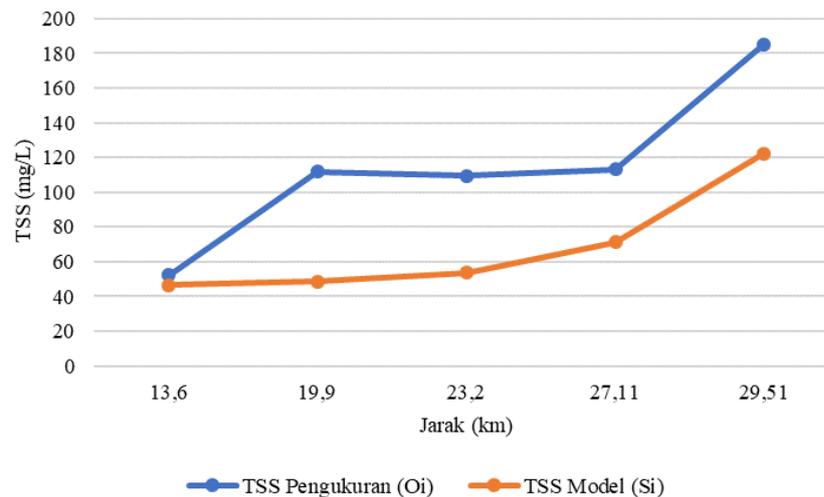
Hasil kalibrasi antara data model (prediksi) dan hasil pengukuran parameter TSS menunjukkan hasil RMSE yang sangat besar 50,56 dan R^2 bernilai negatif yang berarti hasil kalibrasi menggunakan RMSE memiliki nilai yang jauh dari kondisi syarat minimum 0 sedangkan R^2 yang bernilai negatif mengindikasikan adanya *error* pada pemodelan ini dikarenakan kurang seragamnya pembagian segmen sungai, data yang diperoleh di lapangan dan estimasi perhitungan limbah yang masuk pada tiap-tiap segmen.

Tabel 31 Hasil kalibrasi antara TSS pengukuran dan TSS model

Jarak (km)	TSS Pengukuran (Oi)	TSS Model (Si)	$(O_i - S_i)^2$	$(O_i - O_{\text{mean}})^2$
13,6	52,33	46,46	34,46	3852,27
19,9	111,67	48,67	3968,41	7,47
23,2	109,33	53,69	3095,73	25,67
27,11	113,33	71,14	1780,32	1,14
29,51	185,33	122,43	3956,84	5031,54
sum	572,00		12835,76	8918,09
Avg	114,40		2567,15	
N			5,00	
RMSE			50,56	
R^2			0	

Sumber: Hasil Perhitungan 2023

Pola model pada grafik antara hasil pengukuran dan hasil model hampir bersesuaian. Namun, karena nilai RMSE yang sangat jauh dari angka 0 dan nilai R^2 bernilai negatif, maka hasil TSS tidak dapat digunakan untuk analisis selanjutnya.



Gambar 39 Hasil kalibrasi antara TSS pengukuran dan TSS model

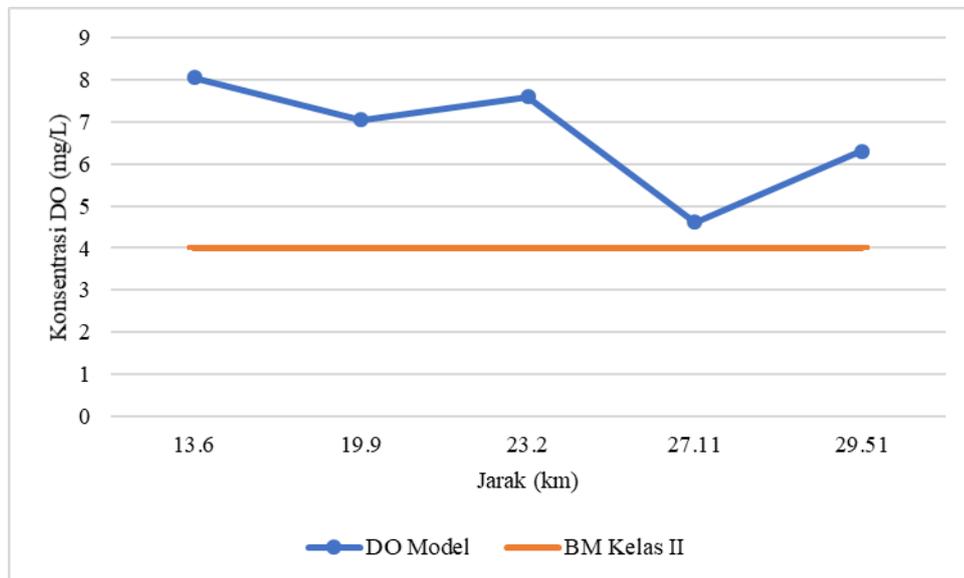
4.6 Simulasi Kualitas Air

Model kualitas air Sungai Jeneberang bagian hilir yang telah dihasilkan dari *running* program WASP dapat dipergunakan untuk memperkirakan kualitas air dengan skenario ini disebut proses simulasi. Proses untuk memperkirakan kualitas air sesuai dengan skenario ini disebut proses simulasi. Parameter kualitas air yang disimulasikan adalah DO, BOD, dan TSS. Untuk parameter suhu, pH dan COD dalam penelitian ini untuk semua simulasi masih memenuhi baku mutu kelas II. Simulasi yang dilakukan dengan mengasumsikan debit, kualitas air di sepanjang Sungai Jeneberang dan kondisi sumber pencemar.

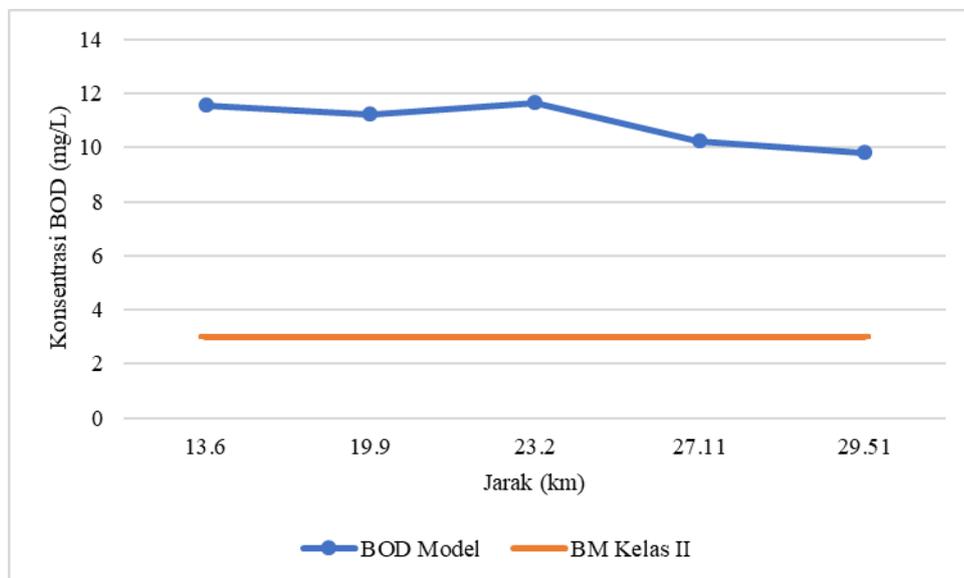
4.6.1 Skenario 1

Simulasi pada skenario 1 merupakan simulasi dimana data yang diinput sesuai dengan hasil dari pembentukan model. Simulasi pada skenario 1 dilakukan dengan melakukan input data hasil simulasi model dari perhitungan beban pencemar di bantaran Sungai Jeneberang bagian hilir. Profil DO, BOD, COD dan

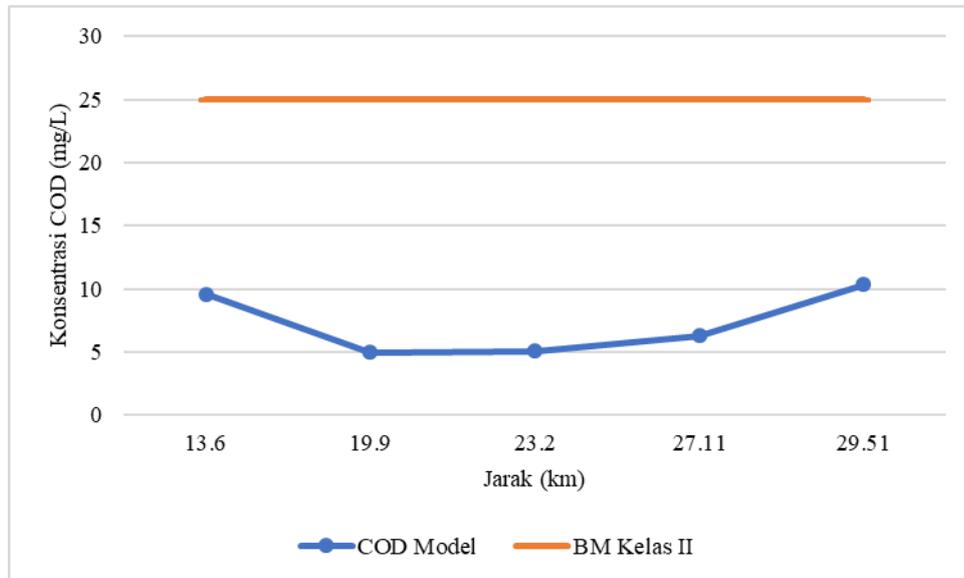
TSS pada hasil analisis beban pencemar dapat dilihat pada Gambar 33 sampai Gambar 36.



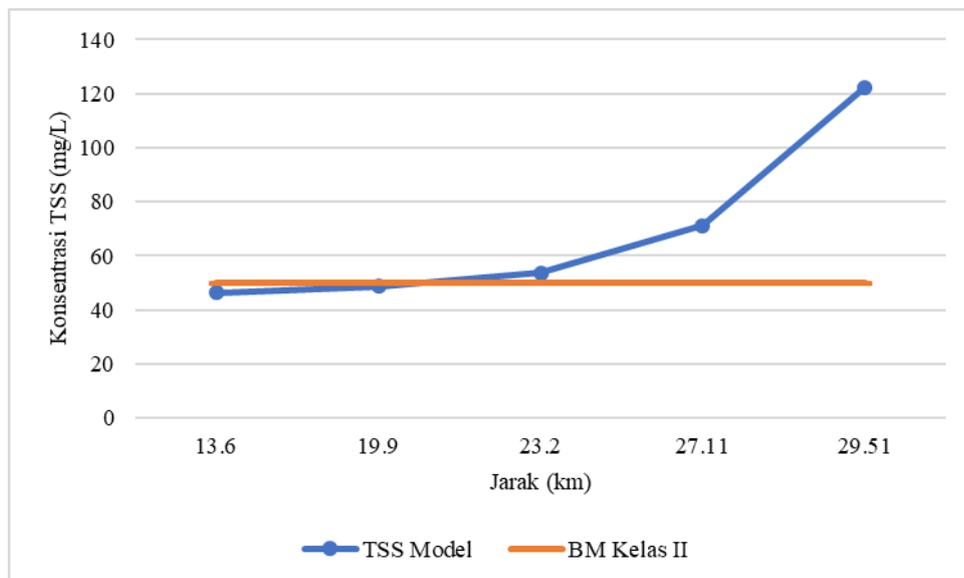
Gambar 40 Hasil simulasi skenario 1 untuk DO



Gambar 41 Hasil simulasi skenario 1 untuk BOD



Gambar 42 Hasil simulasi skenario 1 untuk COD



Gambar 43 Hasil simulasi skenario 1 untuk TSS

Berdasarkan hasil simulasi skenario 1 konsentrasi DO berada diatas baku mutu kelas II. Konsentrasi parameter BOD berada di atas baku mutu kelas II, namun semakin mendekati hilir konsentrasi BOD semakin mengecil tapi tetap diatas baku mutu, hal itu dapat disebabkan semakin ke hilir atau ke muara sungai semakin berkurangnya aktivitas tata guna lahan yang menghasilkan limbah organik.

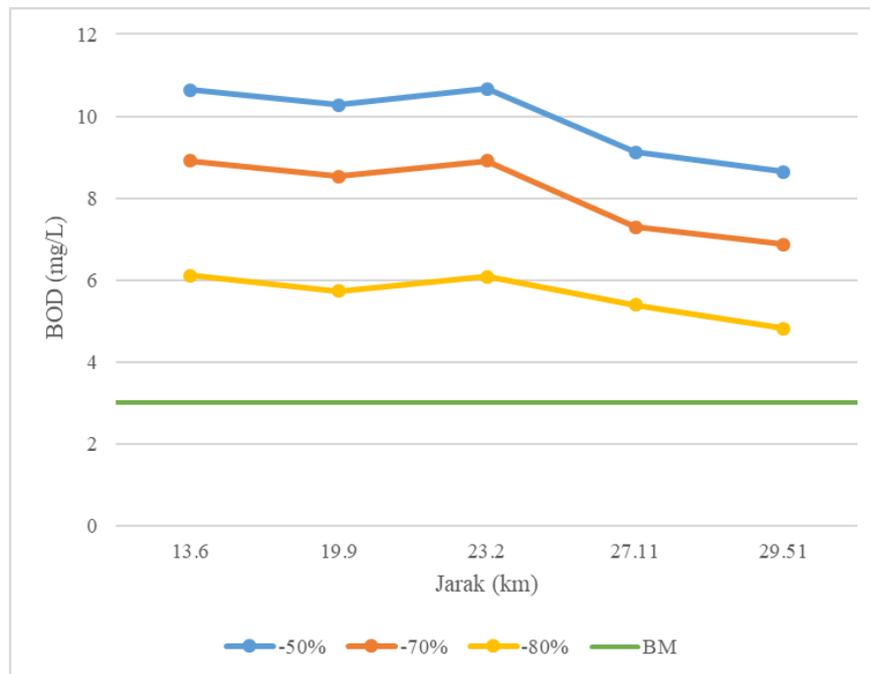
Sedangkan parameter COD di semua titik berada di bawah baku mutu kelas II dan semakin ke muara semakin turun kecuali pada titik akhir di segmen 5 terjadi peningkatan konsentrasi COD. Penurunan konsentrasi COD mengindikasikan bahan organik yang sulit terurai. Penurunan konsentrasi COD diindikasikan bahwa konsentrasi COD telah mengalami *self purification* dan semakin berkurangnya kandungan kimia yang masuk ke dalam sungai. Dan untuk parameter TSS terjadi peningkatan konsentrasi dari segmen 1 hingga segmen 5 hal ini terjadi karena banyaknya kegiatan pembangunan dan terbawanya sedimen hasil longsor dari daerah pegunungan. Segmen 5 dengan konsentrasi TSS tertinggi sebagai lokasi akumulasi pengendapan sedimen yang dibawa oleh aliran sungai dari hulu.

4.6.2 Skenario 2

Simulasi 2 adalah kondisi dimana melakukan pengurangan beban pencemar dari *point source* dan *non-point source* secara bersamaan. Simulasi pengurangan beban pencemar hanya dilakukan pada parameter yang telah berada di atas baku mutu kelas II. Beban pencemaran BOD berkurang sekitar 50%, 70% dan 80% sebagai strategi pengendalian pencemaran sungai. Simulasi 2 dibagi lagi menjadi 2 skenario dimana 50% merupakan pengurangan dari 25% *point sources* dan 25% *non-point sources*, 70% merupakan pengurangan beban 35% *point source* dan 35% *non-point sources*, dan 80% merupakan pengurangan dari 50% *point source* dan 30% *non-point sources*. Oleh karena itu, skenario ini mengasumsikan bahwa pengendalian sungai 50%, 70% dan 80% dapat mengurangi beban pencemaran.

Pada simulasi 2 ini hanya dilakukan pada parameter BOD, karena parameter BOD yang melewati baku mutu kelas II. Sedangkan untuk parameter COD berada dibawah baku mutu dan parameter TSS berdasarkan hasil kalibrasi tidak dapat dilakukan simulasi dikarenakan hasil pengukuran dan hasil model saling bertolak belakang.

Berdasarkan hasil simulasi skenario 2, konsentrasi parameter BOD dari pengurangan beban 50%, 70%, dan 80% mengalami penurunan namun tidak signifikan dan masih berada diatas baku mutu kelas II.



Gambar 44 Hasil simulasi 2 untuk BOD

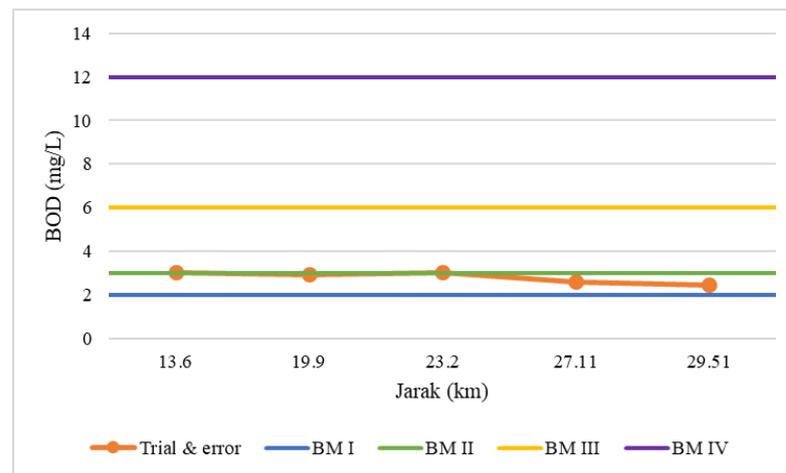
4.6.3 Skenario 3

Simulasi skenario 3 dilakukan *trial and error* dengan mengurangi beban pencemar baik dari *point source* dan *non point source* hingga memenuhi dengan baku mutu kelas II. Simulasi ini bertujuan agar mengetahui pengurangan minimal dari masing-masing beban pencemar agar sesuai dengan baku mutu kelas II dan diasumsikan semua sektor melakukan perbaikan. Hasil simulasi ini dapat digunakan untuk menghitung daya tampung beban pencemaran.

Hasil dari skenario 3 yaitu simulasi pengurangan beban pencemaran secara *trial and error* di semua sektor agar sesuai baku mutu kelas II, maka dilakukan pengurangan beban di sektor domestik sebesar 25%, pertanian dan perkebunan sebesar 50%, industri kecil 8% dan PDAM sebesar 6% sehingga didapat bahwa beban pencemar dari semua segmen tidak ada yang melebihi baku mutu kelas II.

Hasil simulasi skenario 3 yang dibuat, dipilih sebagai skenario yang paling sesuai untuk program daya tampung beban pencemaran (DTBP) yaitu jumlah beban pencemar yang dapat dibuang ke sungai tanpa menyebabkan air sungai tercemar (tidak melebihi standar baku mutu) di Sungai Jeneberang bagian hilir. Skenario 3

dipilih sebagai program daya tampung beban pencemaran (DTBP) di Sungai Jeneberang bagian hilir, dengan pengurangan beban BOD dari sumber *non-point source* (pertanian dan domestik) sehingga kualitas air Sungai Jeneberang bagian hilir dapat memenuhi baku mutu kelas II.



Gambar 45 Hasil skenario 3 untuk BOD

4.7 Daya Tampung Beban Pencemaran di Sungai Jeneberang Hilir

Daya tampung beban pencemar (DTBP) merupakan beban maksimal yang dapat di tampung sungai ketika kondisi sungai telah mencapai baku mutu yang telah disyaratkan. Dalam penelitian ini, DTBP dapat diketahui dengan melakukan simulasi pada saat kondisi sungai telah dilakukan penurunan dan telah sesuai dengan baku mutu kelas II (skenario 3). Simulasi yang dilakukan merupakan kualitas air yang dikeluarkan model WASP untuk selanjutnya dikalikan dengan debit masing-masing segmen sehingga diperoleh nilai DTBP dalam satuan kg/hari. Berdasarkan hasil simulasi akan didapatkan beban maksimal yang diperbolehkan dibuang ke Sungai Jeneberang bagian hilir. Besarnya kapasitas simulasi tersebut sewaktu-waktu dapat berubah sesuai dengan debit eksisting, namun perubahannya tidak terlalu signifikan. Perubahan atau perbedaannya bias disebabkan oleh meningkatnya jumlah limbah yang masuk, jumlah segmen dan perbedaan musim

(Ramadhiani, 2020). Berikut hasil rekap perhitungan daya tampung beban pencemaran di setiap segmen berdasarkan skenario 3.

Tabel 32 Hasil perhitungan daya tampung beban pencemaran

Segmen	Jarak dari hulu (km)	Debit (m ³ /detik)	BOD (kg/hari)
Segmen 1	13,6	163,03	471,00
Segmen 2	19,9	248,07	697,02
Segmen 3	23,2	279,05	813,40
Segmen 4	27,11	198,15	506,94
Segmen 5	29,51	182,19	446,49
Total			2.934,85

Sumber: Hasil Perhitungan 2023

Berdasarkan hasil analisa DTBP maka diperoleh beban maksimal BOD yang diperbolehkan untuk dibuang ke Sungai Jeneberang bagian hilir adalah sebesar 2.934,85 kg/hari atau 29,34 ton/hari.

Sementara itu untuk mengetahui jumlah beban pencemar yang masuk ke badan Sungai Jeneberang bagian hilir adalah dengan mengalikan simulasi kualitas air yang dihasilkan dari pemodelan WASP pada skenario 1 dengan debit tiap-tiap segmen.

Tabel 33 Hasil beban pencemar yang masuk ke badan Sungai Jeneberang hilir

Segmen	Jarak dari hulu (km)	Debit (m ³ /detik)	BOD (kg/hari)
Segmen 1	13,6	163,03	1.883,67
Segmen 2	19,9	248,07	2.787,56
Segmen 3	23,2	279,05	3.253,61
Segmen 4	27,11	198,15	2.019,14
Segmen 5	29,51	182,19	1.781,79
Total			1.172,77

Sumber: Hasil Perhitungan 2023

Jumlah beban pencemar yang masuk ke badan Sungai Jeneberang untuk parameter BOD adalah sebesar 1.172,77 kg/hari atau 11,73 ton/hari. Hal ini menunjukkan bahwa unuk parameter BOD telah melampaui (*over capacity*) daya tampung beban pencemaran (DTBP) di Sungai Jeneberang bagian hilir dengan

membandingkan hasil beban pencemar skenario 1 (eksisting) dengan hasil beban pencemar skenario 4 (sesuai baku mutu).

Dalam simulasi WASP, tidak terdapat sistem nilai yang baku untuk menterjemahkan makna kualitatif dari hasil simulasi yang diperoleh dalam bentuk kuantitatif. Meskipun demikian, pendekatan logika dan pemantauan secara langsung di lapangan dapat digunakan untuk memberikan makna pada hasil simulasi WASP tersebut.

Melihat hasil dari perhitungan daya tampung beban pencemaran di Sungai Jeneberang bagian hilir yang telah melampaui batas minimumnya (tercemar ringan) namun masih relatif baik, perlu dilakukan upaya-upaya untuk mempertahankan kondisi ini. Berikut adalah implementasi upaya yang dapat dilakukan, yaitu :

1. Secara administratif, adalah dengan cara pemerintah mengeluarkan kebijakan atau peraturan terkait dengan pembuangan sampah ke sungai. Pemerintah harus membuat peraturan yang lebih spesifik dan berorientasi terhadap kelestarian lingkungan Sungai Jeneberang serta memberikan larangan membangun dan mendirikan usaha di sisi kanan-kiri Sungai Jeneberang dan memberikan sanksi yang berat kepada pelanggarnya.
2. Secara teknologis, adalah dengan mewajibkan tiap pabrik baik dari industri besar maupun industri kecil untuk memiliki unit pengolahan air limbah sendiri. Sebelum limbah pabrik dibuang ke lingkungan, pabrik wajib mengolah limbah tersebut terlebih dahulu sehingga tidak berbahaya bagi sungai dan lingkungan.
3. Secara edukatif, adalah dengan melakukan penyuluhan terhadap masyarakat mengenai pencemaran sungai, menjelaskan mengenai hal-hal apa saja yang boleh dan tidak boleh dilakukan terhadap sungai. Mengadakan kegiatan bersih-bersih di daerah pinggir sungai dengan melibatkan semua elemen masyarakat.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan pada penelitian ini, adalah sebagai berikut.

1. Berdasarkan hasil analisis kualitas air menggunakan parameter suhu, pH, DO, BOD, COD dan TSS menunjukkan bahwa Sungai Jeneberang bagian hilir berada pada status “cemar ringan” dengan nilai Indeks Pencemaran (IP) rata-rata 2,11.
2. Hasil pemodelan kualitas air Sungai Jeneberang dengan menggunakan pemodelan WASP dapat direpresentasikan mendekati hasil observasi untuk parameter BOD dengan nilai RMSE 2,88 dan nilai R^2 BOD adalah 0,002 bernilai positif. Sedangkan untuk parameter DO, COD dan TSS, pemodelan WASP belum dapat merepresentasikan hasil parameter dikarenakan nilai RMSE masing-masing parameter sangat menjauhi nilai minimum yang dipersyaratkan dengan nilai RMSE masing-masing parameter berturut-turut 2,07, 7,72 dan 50,67 dan nilai R^2 masing-masing bernilai negatif.
3. Berdasarkan hasil analisis perhitungan beban pencemaran, besaran beban pencemaran yang masuk ke badan Sungai Jeneberang bagian hilir untuk parameter BOD adalah 2.934,85 kg/hari atau 29,34 ton/hari. Berdasarkan hasil simulasi skenario 3 *trial and error* agar mencaapai baku mutu kelas II, maka besar daya tampung beban pencemaran (DTBP) yang diperbolehkan untuk parameter BOD adalah sebesar 1.172,77 kg/hari atau 11,73 ton/hari.

5.2 Saran

Saran dari penelitian ini untuk penelitian-penelitian selanjutnya, perlu adanya tren data kualitas air seperti data monitoring selama satu tahun atau lebih agar data yang dianalisis mempunyai tingkat akurasi yang tinggi dengan perhitungan beban pencemaran sungai. Diperlukan pula data penunjang seperti data meteorologi dan data sumber pencemar *point source* yang lengkap dan terbaru. Selain itu, untuk sampling kualitas air sebaiknya dilakukan pada saat kondisi

pasang (musim hujan) dan surut (musim kemarau) sehingga dapat merepresentasikan kondisi kualitas air pada saat debit maksimum dan debit minimum. Perlu juga dilakukan proyeksi beberapa tahun kedepan untuk melihat bagaimana kapasitas Sungai Jeneberang dalam menampung beban pencemaran yang masuk.

DAFTAR PUSTAKA

- A Azhar, E Barlian, I Dewata, A Amran, A Teguh and Y Danhas. (2019) Pollution load capacity of Batang Kuranji River, Padang City. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. DOI 10.1088/1755-1315/314/1/012003
- Abdi, Z., Hadi, P. & Widyastuti, ., (2010). Kajian Daya Tampung Beban Pencemaran Sungai Batanghari Pada Penggal Gasiang – Sungai langkok Sumatera Barat.
- Afidah, S. (2021). *Daya Tampung Beban Pencemaran Sebagai Dasar Pengelolaan Lingkungan Sungai Ciujung, Provinsi Banten* (S. Afidah, Ed.). Universitas Diponegoro.
- Ahyar, H., & Sukgmana, D. J. (2020). *Buku Metode Penelitian Kualitatif & Kuantitatif SERI Buku Hasil Penelitian View project Seri Buku Ajar View project*. <https://www.researchgate.net/publication/340021548>
- Ambrose, R. B., & Wool, T. A. (2017). *WASP8 Stream Transport-Model Theory and User's Guide Supplement to Water Quality Analysis Simulation Program (WASP) User Documentation*. Georgia
- Andini, A. P. (2017). *Strategi Pengelolaan Kualitas Air Sungai Ciujung Berdasarkan Daya Tampung Beban Pencemaran Dengan Metode Qual2kw* (A. P. Andini, Ed.).
- Anggraeni, Annisa Chika Ayu. (2022). Pemodelan Daya Tampung Beban Pencemar dan Kapasitas Asimilasi Menggunakan Model WASP (Studi Kasus: Sungai Landak Hilir). ITB. Bandung.
- Anonim, (2003). *Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 Tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air*, s.l.: s.n.
- Anonim, (2010). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 01 Tentang Tata Laksana Pengendalian Air*, s.l.: s.n.
- Anonim, (2011). *Peraturan Pemerintah Nomor 38 Tentang Sungai*, s.l.: s.n.
- Anonim, (2012). *Peraturan Pemerintah Nomor 37 Tentang Pengelolaan DAS*, s.l.: s.n.
- Anonim, (2021). *Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*, s.l.: s.n.
- A., N. & R. S. (2017). Penentuan Daya Tampung Beban Pencemaran BOD dan Fecal Coliform dengan Metode QUAL2E. *Jurnal Teknik Lingkungan*.
- Asdak. (2010). Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. *Gajah Mada University Presas*.
- BPS. (2021). *Kabupaten GOWA dalam ANGKA 2021*. Gowa: BPS Gowa
- Celin, S. M., Bhanot, P., & Kalsi, A. (2022). Resource management: ways to sustain the environmental gains of COVID-19 lockdown. *Environment, Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02228-3>

- Diansyukma, A. (2021). *Kajian Daya Dukung Dan Daya Tampung Beban Pencemaran Air Sungai Pada Sub Das Karang Mumus Kota Samarinda Dengan Metode Wasp*. Bandung. ITB
- Diansyukma, A. Sri Puji Saraswati. Ahmad Tawfieurrahman Yuliansyah. (2021). Analysis of the Carrying Capacity and the Total Maximum Daily Loads of the Karang Mumus Sub-watershed in Samarinda City Using the WASP Method. *Journal of The Civil Engineering Forum*. 7 (2) : 209-222. DOI 10.22146/jcef.62826
- DIKPLHD. (2019). *Laporan Utama Dokumen Informasi Kinerja Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah Kabupaten Gowa Tahun 2019*. Gowa: BLHD Gowa.
- Effendi, H. (2003). *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Penerbit Kanisius.
- Fardiaz, S., 1992, Polusi Air dan Udara, Kanisius Yogyakarta, h. 21-23,185
- Fatmawati, R., Masrevaniah, A., dan Solchin, M. 2012. Kajian Identifikasi Daya Tampung Beban Pencemaran Kali Ngrowo dengan Menggunakan Paket Program Qual2kw. *Jurnal Teknik Pengairan*, 3(2), hal. 122-131.
- Girard, J. E. 2010. Principles of Environmental Chemistry. Jones and Bartlett Publishers. USA
- Hendrasarie, N., dan Cahyarani, pengajar dan, S., Lingkungan, A. P. T., dan Perencanaan Universitas Pembangunan Nasional, F. T. S., & Surabaya, J. T. J. R. R. M. (n.d.). Kemampuan *Self Purification* Kali Surabaya, Ditinjau Dari Parameter Organik Berdasarkan Model Matematis Kualitas Air. In *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan* (Vol. 2, Issue 1).
- Hidup, K. L. (2003). *Status Mutu Air*. Jakarta.
- Hindriani, H. (2013). *Kajian Peningkatan Kualitas Air Sungai Ciujung Berdasarkan Parameter Senyawa Aox (Adsorbable Organic Halides) Dengan Model Wasp (Water Quality Analysis Simulation Program) Dan Model Dinamis*.
- Indonesia Geospasial. 2019. Penggunaan Lahan Sulawesi Selatan. Diakses 22 Mei 2022.
- Jiang, J., Ri, T., Pang, T., Wang, Y., & Wang, P. (2019). *Water quality management of heavily contaminated urban rivers using water quality analysis simulation program*. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 5(3), 295–308. <https://doi.org/10.22034/gjesm.2019.03.03>
- Jurnal, B., Pengembangan, D., Penelitian, |artikel, Air, S. P., Pengendaliannya, S., Sub, D., Boentuka, D., Selatan, K. T., Nusa, P., & Timur, T. (2022). *Jurnal Studi Humaniora dan Ilmu Sosial*. <https://doi.org/10.32996/jhsss>
- KLHK. (2018). *Daya Tampung & Alokasi Beban Pencemaran Sungai Bengawan Solo*.
- Laili, Fanti Nur., & Asep Sofyan. (2017). Identifikasi Daya Tampung Beban Pencemaran Sungai Citarum Hilir Di Karawang Dengan Wasp (*Identification Of Total Maximum Daily Load (Tmdl) Of Downstream Citarum River In Karawang Using Wasp*). *Jurnal Teknik Lingkungan* (Vol. 23, pp. 1–12).

- Lestari, A. Saidah Pratama Indah. (2021). *Analisis Beban Pencemaran Di Sungai Jeneberang Kabupaten Gowa Provinsi Sulawesi Selatan*. *Jurnal Teknosains*, Volume 15, Nomor 2, Mei-Agustus 2021, hlm. 144-150
- Mar, V., & Firmansyah, I. (2020). *Model Dynamic Of Water Quality Index Bod-Based In Indonesia*. In *Journal of System Dynamics* (Vol. 1, pp. 34–41).
- Marlina, N. (2011). *Pemodelan Kualitas Air Menggunakan Qual2Kw*. ITB : Bandung.
- Meeker, W.Q. and Escobar, L.A. (1998) *Statistical Methods for Reliability Data*. Wiley, New York.
- Mulla, N. H., Krishna, B. M., Kumar, B. M., & Professor, A. (2019). A Review on Water Quality Models: QUAL, WASP, BASINS, SWAT and AGNPS. *International Journal of Scientific Research in Civil Engineering* © 2019 IJSRCE /, 3(10), 58–68. <http://www.ecy.wa.gov/>
- Munirah, Z, M. K B Muhammad Izzat Emir. W O Wan Maznah. S Y The. A H Ismail1 and M B Eshak. (2021). Water quality characteristics and modeling of Tasik Aman, USM, Penang. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. DOI 10.1088/1755-1315/711/1/012006
- Naubi, I., Zardari, N. H., Shirazi, S. M., Ibrahim, N. F. B., & Baloo, L. (2016). Effectiveness of water quality index for monitoring Malaysian river water quality. *Polish Journal of Environmental Studies*, 25(1), 231–239. <https://doi.org/10.15244/pjoes/60109>
- Nur, A., Alfionita, A., Kaseng, E. S., Program, A., Pendidikan, S., & Pertanian, T. (2019). Pengaruh Eutrofikasi Terhadap Kualitas Air Di Sungai Jeneberang Effect Of Eutrophication On Water Quality In Jeneberang River. *Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian*, 5, 9–23.
- Naharuddin, M., Si, I. H., Harijanto, I. A., & Wahid, M. S. (2018). *BUKU AJAR Pengelolaan Daerah Airan Sungai Dan Aplikasinya Dalam Proses Belajar Mengajar*. Untad Press: Palu.
- Obin, Nicolas. Hongni Tao. Fei Ge and Xingwang Liu. Research on Water Quality Simulation and Water Environmental Capacity in Lushui River Based on WASP Model. (2021). *MDPI*. <https://doi.org/10.3390/w13202819ht>
- Permatasari, Prita Ayu. Luisa Febrina Amalo. Rahmat Panestu. Marfian Dwidiwa Putra. (2022). Pollution Load Capacity in the Downstream Citarum Watershed: 4 years after Citarum Harum Program. *Journal of Natural Resources and Environmental Management*. 12(4):706-719. DOI:10.29244/jpsl.12.4.706-719
- Pratama, A. N. K. (2021). *Pemodelan Dissolved Oxygen dan Chemical Oxygen Demand Pada Sungai Cikakembang Menggunakan Water Quality Analysis Simulation Program (WASP)*. ITB: Bandung.
- PU, K. (2011). *Prosedur dan Instruksi Kerja Penentuan Status Mutu Air dengan Metode Storet dan Metode Indeks Pencemaran*.
- Purnaini, Rizki. Sudarmadji. Suryo Purnowo. (2019). Pemodelan Sebaran Bod Di Sungai Kapuas Kecil Bagian Hilir Menggunakan Wasp. *Jurnal Teknosains*. Vol. 8 No. 2. Hal 148-157. <https://doi.org/10.22146/teknosains.34921>

- Putri, S. U. D. (2014). *Analisis Kualitas Air Sungai Ciujung Menggunakan Model WASP (Water Quality Analysis Simulation Program)*.
- Rachmansya, Arief. Akhmad Adi Sulianto. Novia Lusiana. Luhur Akbar Devianto. (2021). Assessment of Water Quality Index and Pollution Load Capacity in the Sukowidi River and Bendo River, Banyuwangi Region. *Indonesian Journal of Environmental and Sustainable Development*. Vol 12 No. 1. <https://doi.org/10.21776/ub.jpjpal.2021.012.01.01>
- Rahayu, Y., Juwana, I., & Marganingrum, D. (2018). Kajian Perhitungan Beban Pencemaran Air Sungai Di Daerah Aliran Sungai (DAS) Cikapundung dari Sektor Domestik. *Jurnal Rekayasa Hijau*, 2(1). <https://doi.org/10.26760/jrh.v2i1.2043>
- Salmin. (2005). Oksigen Terlarut (DO) Dan Kebutuhan Oksigen Biologi (BOD) Sebagai Salah Satu Indikator Untuk Menentukan Kualitas Perairan. *Oseana*, XXX, 21–26.
- Sampe, H. R. (2018). Kajian Perhitungan Beban Pencemaran Sungai Cisangkuy di Cekung Bandung dari Sektor Pertanian. *Jurnal Rekayasa Hijau*, 2, 165–175.
- Sinaga, A., Nugraha & Rezagaman (2017). Penentuan Daya Tampung Beban Pencemaran BOD dan *Fecal Coliform* dengan Metode Qual2E. *Jurnal Teknik Lingkungan*.
- S. P., I. & A. S. (2011). Study On River Water Quality Status of Bedog River Yogyakarta by Using One-Dimensional Numerical Simulation Bandung, . *Proceeding the 4th Environmental Technology and Management Conference: "Present and Future Challenges in Environmental Sustainability."*
- SNI. *Air dan air limbah-Bagian 72: Cara uji Kebutuhan Oksigen Biokimia (Biochemical Oxygen Demand/ BOD)*. (n.d.).
- Stan Standar Nasional dar Nasional Indonesia Indonesia*. (2015). www.bsn.go.id
- Sudrajat, R., Putra, P., Rozari, Philippi de, & Soetedjo, P. (2022). *Journal of Humanities and Social Sciences Studies Water Pollution Study and its Control Strategies in the Boentuka Sub-watershed, South Timor Regency, Timur Nusa Tenggara Province*. <https://doi.org/10.32996/jhsss>
- Thamrin, Meinarni., Ramli, Muhammad., Sri Widodo, Jayasman Kadir. (2018). Penentuan Kualitas Air Sungai Jeneberang Dengan Metode Indeks Pencemar, Di Kabupaten Gowa Provinsi Sulawesi Selatan. *Seminar Ilmiah Nasional Sains dan Teknologi*: Vol. 4 : Novemver 2018.
- Wardhana, W. A., (2004). *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Yoyakarta: Penerbit Andi.
- Winandar, H. (2015). *Kajian Pengaruh Penggunaan Lahan Terhadap Kualitas Air Dalam Upaya Pengendalian Pencemaran Air Pada Sungai Siwaluh Kabupaten Karanganyar*.
- Yuliasuti. (2011). *Kajian Kualitas Air Sungai Ngringo Karanganyar Dalam Upaya Pengendalian Pencemaran Air*.

LAMPIRAN

Lampiran A – Penggunaan Software WASP

Dataset Parameters

Description: Paper Result | Model Type: Advanced Eutrophication

Restart Option: No Restart File
 Create Restart File
 Load Restart File [Browse]

Time Range:
 Start Date: 11/1/2022
 Start Time: 6:00 AM
 End Date: 11/30/2022
 End Time: 4:00 PM
 Skip Ahead in HYD File: 11/1/2022
 Skip Ahead to Time: 6:00 AM

Hydrodynamics
 Hydrodynamic Linkage File [Browse]
 Update Start/End Time Initiate Input File
 Timestep Optimization

WASP Utility Files:
 Sensitivity/Uncertainty Config File [Browse]
 Post Run Command File [Browse]

Solution Technique: Euler
 Enable Output Summaries CSV/BMD2 for Boundary Info

Bed Volumes:
 Static
 Dynamic
 Bed Compaction Time Step: 0.00

Time Step:
 Fraction of Max DT Calculated: 0.90000
 Max Allowable Timestep (days): 1.00000
 Min Allowable Timestep (days): 0.00010

Model Output Interval (days): 1.000000

Solution Options:
 Negative Solution Allowed

OK Cancel

Model State Variable Activation

System Type	System Name	ticulate Transp	Mass Balance	Density	Dispersion Bypass	Flow Bypass
1 CBODU	COD	Solids 1	<input type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 WTEMP	Suhu	Solids 1	<input type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 CBODU	BOD	Solids 1	<input type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4 DISOX	Dissolved Oxygen	Solids 1	<input type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5 SOLID	TSS	Solids 1	<input type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Insert Delete Copy Paste Fill/Calc OK Cancel

Segments

Segment Definition Initial Conditions Fraction Dissolved

Segment Name	Segment Type	Transport Mode	Segment Below
1 Segmen 1	Surface	Kinematic Wave	None
2 Segmen 2	Surface	Kinematic Wave	None
3 Segmen 3	Surface	Kinematic Wave	None
4 Segmen 4	Surface	Kinematic Wave	None
5 Segmen 5	Surface	Kinematic Wave	None

Insert Delete
OK Cancel

Segments

Segment Definition Initial Conditions Fraction Dissolved

Segment Name	COD	Suhu	BOD	Dissolved Oxygen	TSS
1 Segmen 1	9.08	26.7	12.86	8.38	52.33
2 Segmen 2	14.38	28.7	5.24	8.69	111.667
3 Segmen 3	14.21	28.3	13.36	8.86	109.33
4 Segmen 4	14.46	29	10.34	8.34	113.33
5 Segmen 5	17.96	29.7	10.63	8.16	185.33

F11/Calc Copy Paste
OK Cancel

Parameter Data

Environmental									
Parameter	System	Used	Scale Factor	Segmen 1	Segmen 2	Segmen 3	Segmen 4	Segmen 5	
1 Temperature of Segment [°C or Multiplier]	None	<input checked="" type="checkbox"/>	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
2 Air Temperature of Segment [°C or Multiplier]	None	<input checked="" type="checkbox"/>	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
3 Pointer to Air Temperature Time Function	None	<input type="checkbox"/>	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
4 Solar Radiation Multiplier [unitless or watts/m2]	None	<input checked="" type="checkbox"/>	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
5 Solar Radiation Time Function [1-4]	None	<input checked="" type="checkbox"/>	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
6 Wind Speed Multiplier [unitless or m/sec]	None	<input checked="" type="checkbox"/>	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
7 Pointer to Wind Speed Time Function	None	<input checked="" type="checkbox"/>	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
8 Cloud Cover Multiplier [unitless or fraction]	None	<input type="checkbox"/>	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
9 Pointer to Cloud Cover Time Function	None	<input type="checkbox"/>	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
10 Dew Point Temperature Multiplier [unitless or °C]	Suhu	<input type="checkbox"/>	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
11 Pointer to Dew Point Time Function	Suhu	<input type="checkbox"/>	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
12 Wind Sheltering Coefficient Multiplier [unitless or fraction]	Suhu	<input type="checkbox"/>	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
13 Pointer to Wind Sheltering Time Function	Suhu	<input type="checkbox"/>	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
14 Multiplier for Shading Coefficient [unitless or fraction]	None	<input type="checkbox"/>	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
15 Pointer to Shading Time Function	None	<input type="checkbox"/>	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
16 Light Extinction for Segment [per meter or multiplier]	None	<input type="checkbox"/>	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
17 Light Extinction Time Function [1-4]	None	<input type="checkbox"/>	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
18 Background Ke (1/m)	None	<input type="checkbox"/>	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
19 Water Velocity [m/sec or Multiplier]	None	<input type="checkbox"/>	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	

Copy Paste Fill/Calc OK Cancel

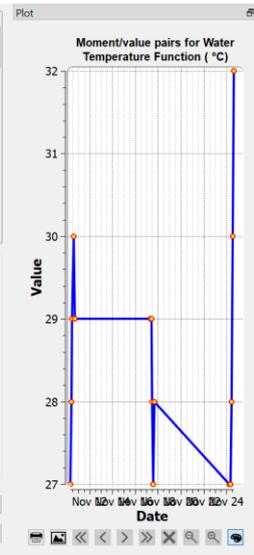
Time Functions

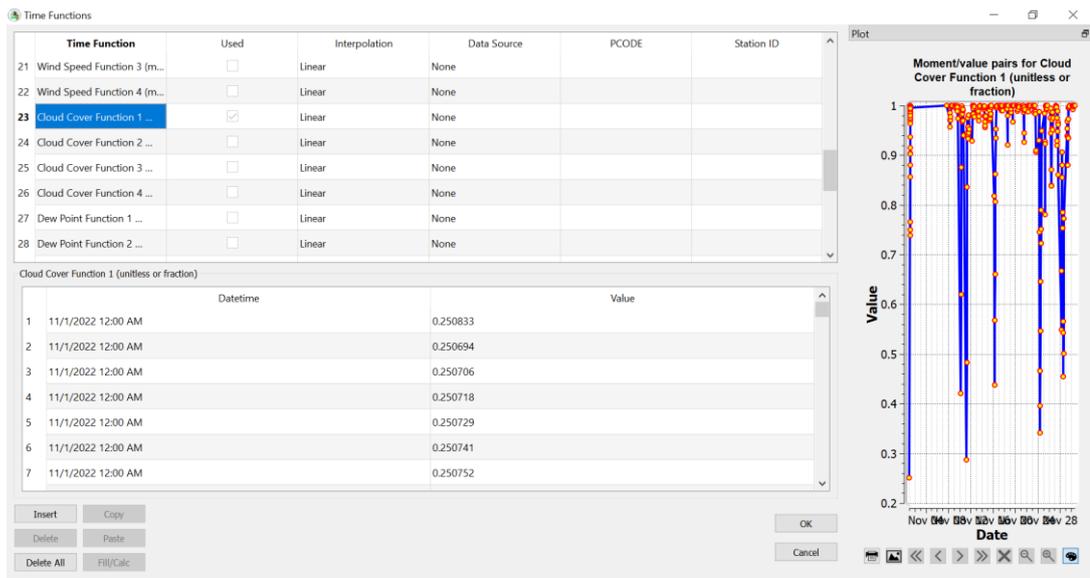
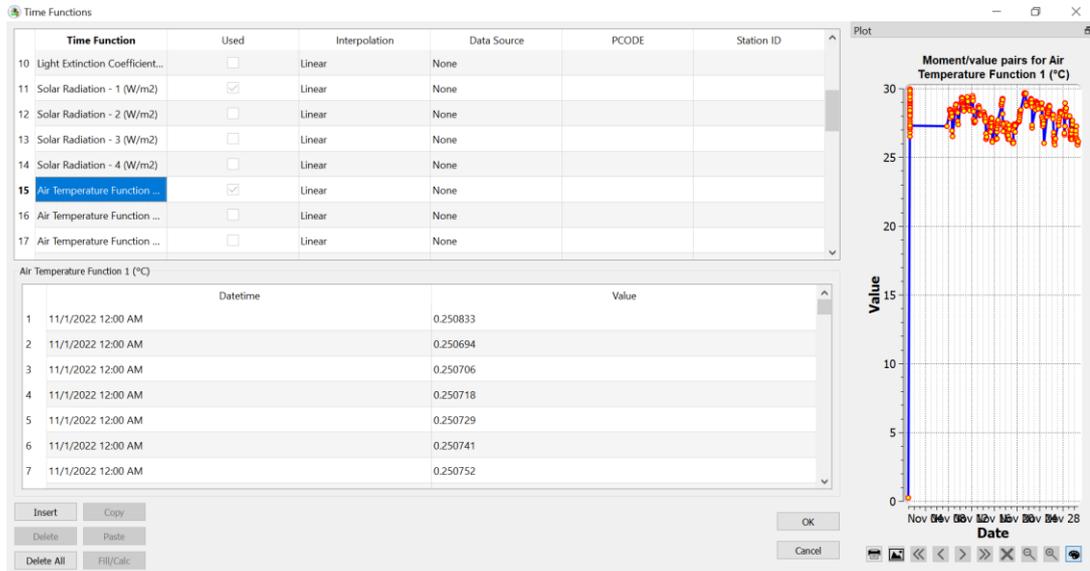
Time Function	Used	Interpolation	Data Source	PCODE	Station ID
1 Water Temperature Function	<input checked="" type="checkbox"/>	Linear	None		
2 Velocity Function (m/sec)	<input type="checkbox"/>	Linear	None		
3 Atmospheric Pressure	<input checked="" type="checkbox"/>	Linear	None		
4 Reaeration Function (per ...)	<input type="checkbox"/>	Linear	None		
5 Ice Cover Function 1 ...	<input type="checkbox"/>	Linear	None		
6 Fraction Daily Light ...	<input type="checkbox"/>	Linear	None		
7 Light Extinction Coefficient...	<input type="checkbox"/>	Linear	None		
8 Light Extinction Coefficient...	<input type="checkbox"/>	Linear	None		

Water Temperature Function (°C)

Datetime	Value
1 11/10/2022 7:00 AM	27
2 11/10/2022 9:00 AM	28
3 11/10/2022 11:00 AM	29
4 11/10/2022 2:00 PM	30
5 11/10/2022 4:00 PM	29
6 11/17/2022 8:00 AM	29
7 11/17/2022 10:00 AM	29

Insert Copy Delete Paste Delete All Fill/Calc OK Cancel





Flows

Channel Geometry Surface Water Pore Water Solids 1 Solids 2 Solids 3 Evaporation/Precipitation

Segment Name	Volume (m3)	Length (m)	Average Width (m)	Bottom Elevation (m)	Slope	Minimum Depth (m)	Roughness	Average Depth (m)	Initial Surface Elevation (m)	Depth Multiplier	Depth Exponent	Av
1 Segmen 1	1.25382e+06	13800	140.5		0.002726	0.25	0.05	0.6467			0	0
2 Segmen 2	1.31353e+06	6900	70.9		0.00093	1.8	0.04	2.685			0	0
3 Segmen 3	927378	3250	86.6		0.001097	2.44	0.04	3.295			0	0
4 Segmen 4	1.4341e+06	3870	161		0.00105	1.87	0.04	2.3016			0	0
5 Segmen 5	1.14181e+06	2400	207		0.000282	1.7	0.03	2.2983			0	0

Copy Paste Fill/Calc OK Cancel

Flows

Channel Geometry Surface Water Pore Water Solids 1 Solids 2 Solids 3 Evaporation/Precipitation

Flow Field Parameters
 Conversion 1.0000 Scale 1.0000 Used

Flow Function

	Function	Interpolation	Scale Factor	Bound	Data Source	PCODE	Station ID
1	IKK Barombong	Linear	1.0000	Flow	None		
2	IPA PAndang...	Linear	1.0000	Flow	None		
3	PT. Tirta Fresindo	Linear	1.0000	Flow	None		
4	PT. Triteguh ...	Linear	1.0000	Flow	None		
5	P. Tahu 6	Linear	1.0000	Flow	None		

Segment Pairs

From	To	Fraction
1 Boundary	1: Segmen 1	1

Moment Value Pairs

Datetime	Value
1 11/1/2022 6:00 AM	0.000123
2 11/30/2022 4:00 PM	0.000123

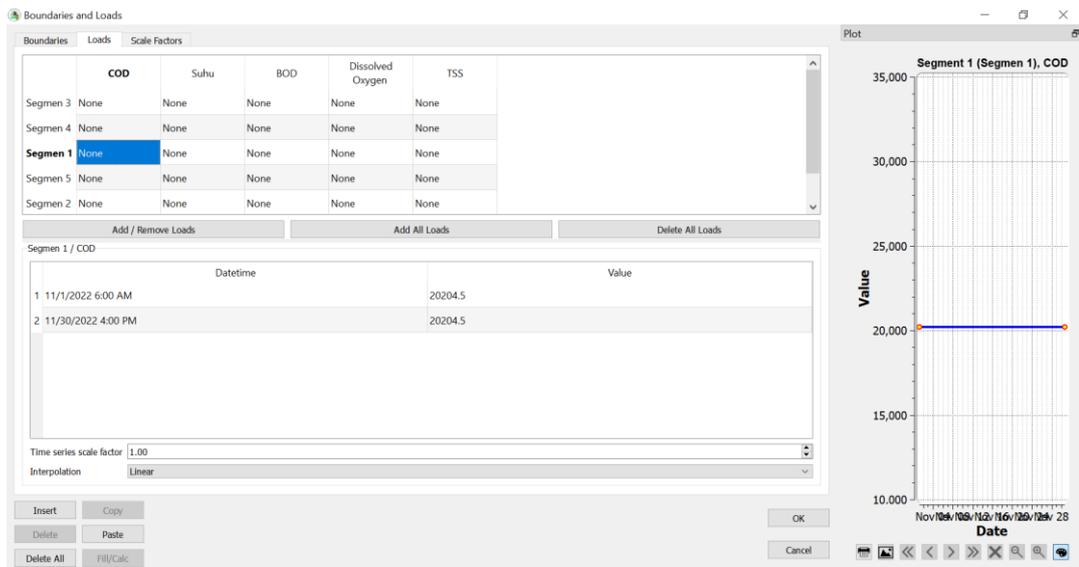
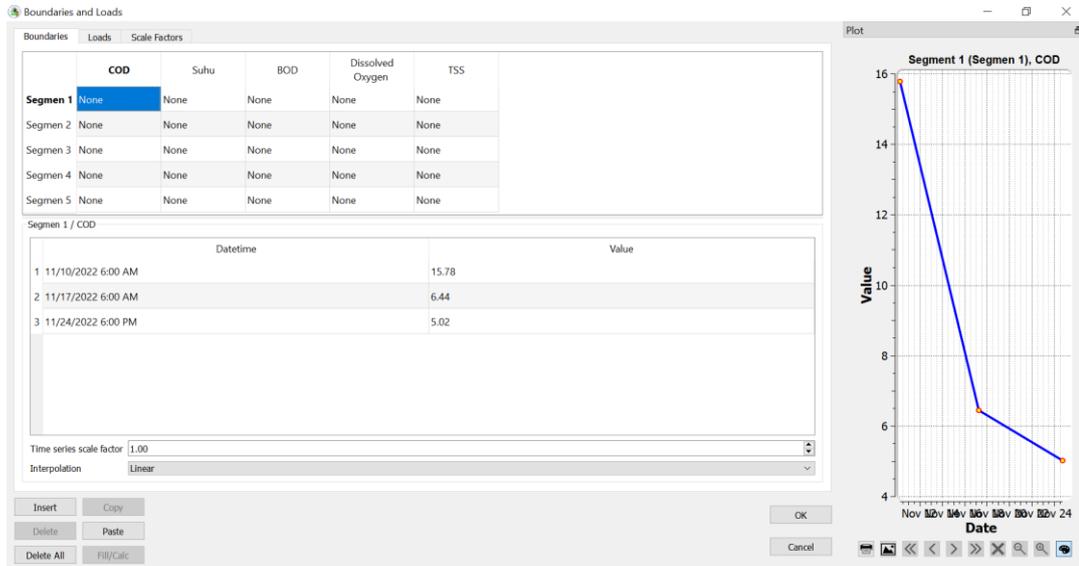
Plot

Moment/value pairs for Surface Water, PT. Tirta Fresindo

Value

Date

Copy Paste Fill/Calc OK Cancel



Output Control

Output Control Group

Transport

	Description	System	Units	Output
1	Mass Check (Should = 1)	None	mg/l	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Volume	None	cubic meters	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Flow Into Segment	None	m3/sec	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Flow Out of Segment	None	m3/sec	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Water Velocity	None	m/sec	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Advective Flow	None	m3/sec	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Dispersive Flow	None	m3/sec	<input type="checkbox"/>
8	Upward Flow	None	m3/sec	<input type="checkbox"/>
9	Residence Time	None	days	<input type="checkbox"/>
10	Segment Depth	None	meters	<input checked="" type="checkbox"/>
11	Water Temperature	None	°C	<input checked="" type="checkbox"/>
12	Segment Width	None	m	<input type="checkbox"/>
13	Total Water Column Depth	None	m	<input type="checkbox"/>
14	Segment Surface Elevation	None	m	<input type="checkbox"/>
15	Layer Top Elevation	None	meters	<input type="checkbox"/>
16	Layer Mid Elevation	None	meters	<input type="checkbox"/>
17	Layer Bottom Elevation	None	meters	<input type="checkbox"/>
18	Maximum Timestep	None	days	<input type="checkbox"/>

OK Cancel

USEPA WASP - D:\Magister/Tesis/Data/HASIL WASP/Hasil_kualitas_air_setelahBP.wif

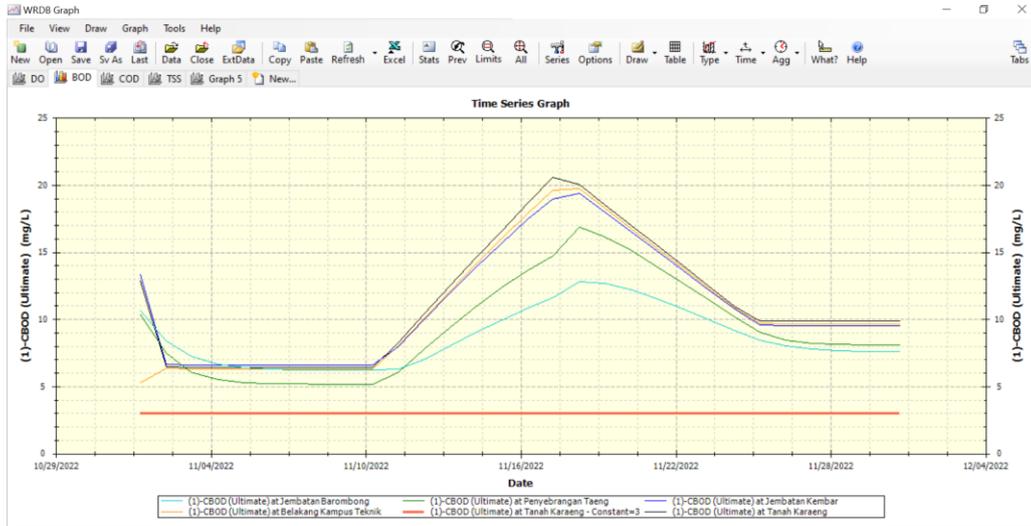
File Project Pre-processor Model Post-processor Help Admin Utilities

Messages

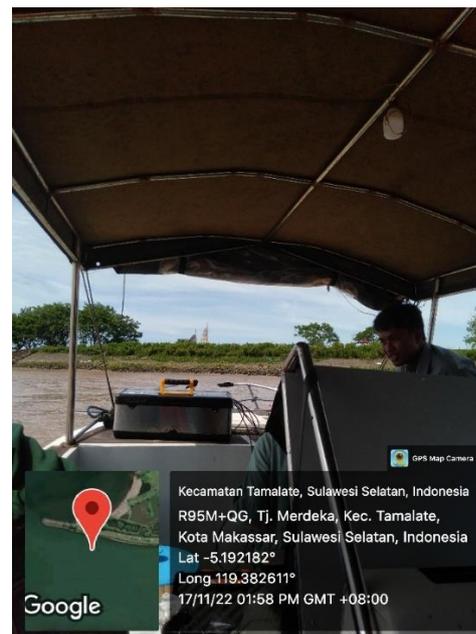
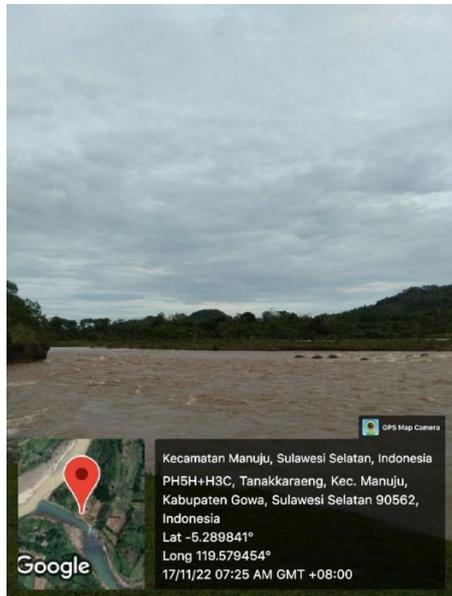
WASP Version Information	
USEPA - WASP Version	8.4.0
Model sha:	4806aca
Built on:	Sat, 12 Mar 2022 14:52:18 -0500
Model branch:	master
Git sha:	14956c4
Git branch:	develop
Platform:	windows
Architecture:	64
Build type:	release

- Getting Model Parameterization Data
- Getting Dispersive Information
- Getting Segment Volume Information
- vault for Segment 1 is set to 0.5638
- vault for Segment 2 is set to 0.7028
- vault for Segment 3 is set to 0.7459
- vault for Segment 4 is set to 0.4627
- vault for Segment 5 is set to 0.3975
- Getting Flow Information
- Getting Time Variable Boundary Information
- Getting Time Variable Loadings
- Getting Initial Conditions
- Euler Solution Technique
- Getting Kinetic Constants
- Getting Segment Specific Environmental Conditions
- Getting Environmental Time Functions
- Getting Temperature Constants

Model Runtime Performance	
Total Seconds	0
Run Time (d\h\m\m\ss)	00:00:00.00
Secs/Day Simulate	0.000000
Secs/Segment/Day	0.000000
Number of DTs	1413



Lampiran B – Dokumentasi Lokasi Kegiatan Penelitian



Lampiran C – Dokumentasi Pelaksanaan Kegiatan Penelitian





