

Analisis Sebaran BOD dan TSS pada Sungai Kapuas di Sekitar PTPN XIII Rimba Belian Kabupaten Sanggau

Allisha Larasati^{1*}, Winardi¹, dan Rizki Purnaini¹

¹ Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura
Jl Prof Dr H Hadari Nawawi Pontianak 78124

E-mail Korespondensi *allisha2406@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v17i2.24586>

Submitted February 1st 2024, Accepted May 4th 2024, Published August 15th 2024

Abstrak

Area penelitian ini, yaitu Sungai Kapuas, berperan sebagai tempat pembuangan limbah dari kegiatan rumah tangga, mencakup mandi, mencuci, dan sanitasi (MCK), serta limbah dari sektor industri dan perkebunan. PTPN XIII Rimba Belian, terletak di Dusun Rimba Belian, Desa Semerangkai, Kecamatan Kapuas, Kabupaten Sanggau, beroperasi dalam produksi minyak sawit (CPO), menyebabkan terbentuknya limbah yang mengandung senyawa organik seperti BOD dan TSS. Limbah dari IPAL pabrik PTPN yang masuk ke sungai dapat menyebabkan sungai menjadi tidak layak digunakan dan dapat menimbulkan penyakit, serta dapat menyebabkan penurunan daya tampung sungai. Sehingga, diperlukan pemodelan untuk menganalisis penyebaran BOD dan TSS serta menghitung kapasitas daya tampung terhadap pencemaran menggunakan model WASP 7.5. Tujuan pemodelan ini yaitu untuk meramalkan kapasitas daya tampung sungai terhadap pencemaran dan dampak perubahan kualitas air sungai yang diakibatkan oleh perkebunan kelapa sawit di sekitar Sungai Kapuas pada lokasi penelitian. Pemodelan dilakukan dengan cara pembagian segmen pada sungai lokasi penelitian yang terdiri dari 6 segmen. Hasil dari penelitian ini menunjukkan jika pabrik PTPN XIII memiliki peran yang cukup besar dalam menyumbang parameter BOD dan TSS. Daya tampung beban pencemar untuk parameter BOD pada lokasi penelitian menunjukkan nilai positif pada seluruh segmen, kecuali segmen 4 yang bernilai negatif. Sedangkan daya tampung beban pencemar untuk parameter TSS menunjukkan nilai positif pada seluruh segmennya.

Kata Kunci : beban pencemar, Sungai Kapuas, limbah organik, daya tampung

Abstract

The research area, namely the Kapuas River, serves as a disposal site for waste from household activities, including bathing, washing, and sanitation (MCK), as well as waste from the industrial and plantation sectors. PTPN XIII Rimba Belian, located in Rimba Belian Hamlet, Semerangkai Village, Kapuas Subdistrict, Sanggau Regency, operates in palm oil (CPO) production, resulting in the formation of waste containing organic compounds such as BOD and TSS. Waste from the PTPN factory's wastewater treatment plant (IPAL) that enters the river can render the river unsuitable for use, leading to diseases, and may cause a decrease in the river's assimilative capacity. Therefore, modeling is needed to analyze the spread of BOD and TSS and calculate the assimilative capacity for pollution using the WASP 7.5 model. The objective of this modeling is to predict the river's assimilative capacity for pollution and the impact of changes in water quality caused by oil palm plantations around the Kapuas River in the research location. The modeling is conducted by segmenting the river into 6 segments. The results of this study indicate that the PTPN XIII factory plays a significant role in contributing to BOD and TSS parameters. The assimilative capacity for BOD in the research location shows positive values in all segments except for segment 4, which has a negative value. Meanwhile, the assimilative capacity for TSS pollution load shows positive values in all segments.

Key words : pollution load, Kapuas River, organic waste, capacity

PENDAHULUAN

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan zona yang ditentukan secara topografi di mana air hujan mengalir dan terkumpul. Air dalam DAS mengikuti siklus hidrologi alami, mulai dari permukaan laut menuju atmosfer, turun ke permukaan tanah, dan akhirnya kembali ke laut. DAS mencakup wilayah di mana air hujan mengalir dan terkumpul, yang kemudian dapat dimanfaatkan oleh manusia atau organisme hidup setelah sementara waktu tertahan di sungai, danau, dan dalam tanah (Bokings, 2020).

Sungai Kapuas, yang terletak di provinsi Kalimantan Barat, adalah sungai terpanjang di Indonesia, membentang sepanjang 1.143 kilometer. Penduduk Kabupaten Sanggau menggunakan Sungai Kapuas sebagai tempat pembuangan limbah cair dari kegiatan rumah tangga, seperti mandi, mencuci, dan sanitasi, serta limbah dari sektor industri dan perkebunan. Pemanfaatan air limbah oleh masyarakat ini dapat berdampak negatif terhadap kualitas air sungai (Mahyudin *et al.*, 2015).

PTPN XIII adalah satu-satunya Badan Usaha Milik Negara (BUMN) di Kalimantan yang bergerak di sektor perkebunan. PTPN XIII Rimba Belian terletak di Dusun Rimba Belian, Desa Semerangkai, Kecamatan Kapuas, Kabupaten Sanggau, dan memproduksi minyak kelapa sawit mentah (CPO) dengan kapasitas produksi 30-60 ton per jam. Limbah dari kelapa sawit memiliki kandungan senyawa organik yang signifikan. Limbah cair pabrik kelapa sawit menyertakan BOD sebesar 9242,60 mg/L dan TSS sebesar 10250 mg/L (Viena et al., 2023). Langkah-langkah dalam mengekstrak, memisahkan, dan menyuling minyak kelapa sawit merupakan kontributor terbesar terhadap tingginya kandungan organik dalam limbah cair kelapa sawit. Kandungan BOD yang tinggi mengurangi kadar oksigen terlarut (DO) dalam limbah, menyebabkan peningkatan senyawa organik yang dihasilkan dan meningkatkan nilai zat padat tersuspensi (TSS). Limbah cair yang dihasilkan oleh pabrik kelapa sawit selama proses pengolahan minyak kelapa sawit mentah mengalir ke sungai, menyebabkan pencemaran di dalamnya, yang sekaligus berfungsi sebagai sumber air harian bagi masyarakat setempat. Konsekuensinya, kualitas air sungai menjadi tidak layak untuk dikonsumsi atau digunakan untuk keperluan mandi, meningkatkan potensi risiko penyakit.

Daya dukung perairan adalah kemampuan perairan dalam mengolah limbah organik yang masuk ke dalamnya. Semakin baik atau cepat perairan itu mengolah limbah, maka semakin besar daya dukungnya. Daya tampung perairan adalah kemampuan perairan dalam menampung limbah organik yang masuk ke dalamnya (Rahadi et al., 2013). Pencemaran perairan terjadi ketika jumlah limbah organik yang masuk melebihi kapasitas daya tampung perairan. Daya dukung dan kapasitas daya tampung perairan dipengaruhi oleh sejumlah faktor fisik, kimia, dan biologi, seperti suhu, pH, kandungan oksigen terlarut, dan kandungan nutrisi. Daya dukung dapat dihitung dengan mengurangi kapasitas daya tampung beban pencemaran dari jumlah pencemaran yang sebenarnya (Irsanda et al., 2014). Daya dukung bisa memiliki nilai nol atau negatif, sementara daya tampung selalu memiliki nilai positif. Pemodelan dapat digunakan untuk melakukan perkiraan terkait daya dukung dan kapasitas daya tampung perairan. Dengan memodelkan aliran air dan kualitas air di suatu perairan, dapat diketahui kemampuan perairan dalam mengolah limbah organik dan menampung limbah organik yang masuk ke dalamnya.

Purnaini et al., (2019) juga menyelidiki penyebaran kontaminan di sungai menggunakan WASP, dengan fokus pada bagian bawah Sungai Kapuas Kecil. Studi tersebut, berjudul "Modeling Distribusi BOD di Sungai Kapuas Kecil Bagian Bawah Menggunakan WASP," bertujuan untuk mengukur perubahan kualitas air yang disebabkan oleh masukan dari berbagai sumber pencemar yang memengaruhi tingkat BOD di Sungai Kapuas Kecil. Penggunaan model WASP dimaksudkan untuk memantau kualitas air dan mengurangi pencemaran air. Data menunjukkan dampak besar dari pembuangan domestik perkotaan dan non-domestik terhadap kualitas air sungai. Konsentrasi BOD ditemukan lebih tinggi selama musim kemarau dibandingkan musim hujan, tanpa memperhitungkan kondisi pasang surut. Menurut model distribusi spasial, akumulasi beban pencemaran BOD dimulai sekitar 5 km di hilir batas hulu, dengan lonjakan konsentrasi tinggi di segmen 27, yang bersumber dari Sungai Landak dan Parit Pekong. Konsentrasi BOD kemudian fluktuatif sebelum meningkat kembali dalam jarak 5 km dari area hulu, kemudian secara bertahap menurun ke hilir. Penelitian ini menggunakan model dinamis WASP untuk mengevaluasi berbagai elemen kualitas air di berbagai jenis badan air, termasuk kolam, sungai, danau, waduk, muara, dan perairan pesisir. Prinsip konversi massa menjadi dasar analisis dalam penelitian ini (Saily et al., 2019). Model WASP menggunakan prinsip konversi massa dalam dimensi geografis dan temporal untuk mengevaluasi setiap komponen kualitas air berdasarkan input spasial dan temporal sepanjang pergerakan. Sehingga, apabila terjadi penurunan atau peningkatan dalam aliran limbah, model ini mampu mensimulasikan atau memproyeksikan perubahan kualitas air. Pendekatan simulasi semacam ini dapat berguna dalam menilai kemampuan suatu badan air untuk menanggung beban pencemaran sesuai dengan standar kualitas air yang telah ditentukan (Hindriani et al., 2013).

Berdasarkan penjelasan di atas, diperlukan pemodelan untuk menganalisis penyebaran BOD dan TSS, serta menghitung kapasitas daya tampung terhadap pencemaran dengan menggunakan model WASP. Tujuannya adalah untuk memproyeksikan pola penyebaran dan kapasitas daya tampung sungai terhadap pencemaran, serta perkiraan perubahan kualitas air sungai yang disebabkan oleh perkebunan kelapa sawit dan upaya pengendalian pencemaran di sekitar PTPN XIII Rimba Belian di Sungai Kapuas. Lokasi penelitian dipilih karena memiliki berbagai sumber pencemar, termasuk kebun sawit, pabrik sawit, pemukiman, dan perkebunan campuran. Limbah cair dari pabrik kelapa sawit, contohnya, memiliki

Toolbar	Data	Sumber Data
Print Interval	0,25	Deafult
Segment	Panjang Segmen (meter)	Google Earth
	Lebar Segmen (meter)	Google Earth
	Kedalaman (meter)	Pengukuran langsung
System	Volume (m ³)	Perhitungan Excel
	Velocity Multiplier	Studi Literatur
	Velocity Exponent	Studi Literatur
	Depth Multiplier	Studi Literatur
	Depth Exponent	Studi Literatur
Constants	CBOD1 : Simulated	
	BOD (1) Decay Rate Constant @20°C (per day)	Trial and Error
Loads	Beban Pencemar BOD per segmen (kg/hari)	Perhitungan Beban Pencemar
Flows	Debit (m ³ /s)	Pengukuran Langsung
Bounderies	Data Konsentrasi BOD Hulu dan Hilir	Hasil Sampling

Pada fase pemodelan, proses kalibrasi model menjadi kritis untuk mengoptimalkan tingkat akurasi. Langkah-langkah kalibrasi melibatkan perbandingan antara prediksi model dan nilai aktual, dengan memilih dan mengisi konstanta data dari menu toolbar sesuai dengan rentang nilai yang telah ditentukan untuk setiap parameter. Metode trial and error diterapkan dalam proses ini. Tujuan dari kalibrasi model adalah guna memastikan hasil yang lebih sesuai dengan keadaan pemantauan di sungai yang sedang dianalisis.

Uji statistik dapat diterapkan untuk memeriksa kesesuaian output model dengan nilai sebenarnya. Root Mean Square Error (RMSE) digunakan sebagai kriteria untuk menilai validitas model setelah diperoleh. RMSE berfungsi sebagai metode evaluasi prediksi dalam pemodelan, dan nilai RMSE yang rendah menunjukkan bahwa perubahan nilai model mendekati perubahan nilai pengukuran. Nilai RMSE dapat diperoleh melalui rumus berikut (Gus Nengsih et al., 2023):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(y' - y)^2}{n}} \dots\dots\dots(1)$$

- Dimana :
- y' : nilai data aktual
 - y : nilai data prediksi
 - n : jumlah data

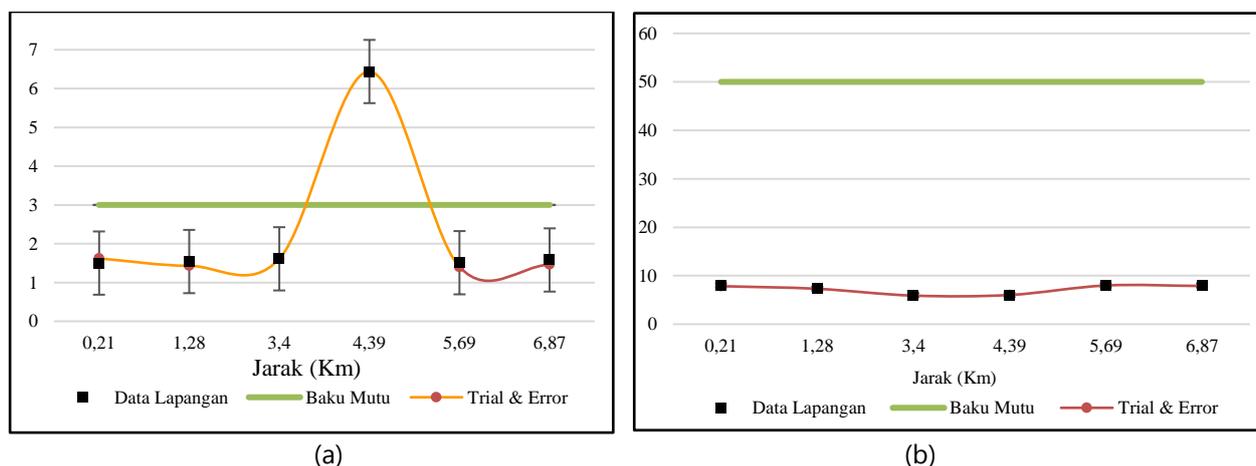
Pemodelan simulasi kualitas air yang diterapkan dalam penelitian ini diarahkan untuk meramalkan kondisi kualitas air di Sungai Kapuas di sekitar PTPN XIII Rimba Belian dengan mempertimbangkan beberapa skenario. Penelitian ini mencakup empat skenario yang telah direncanakan, yang melibatkan hal-hal berikut:

1. Skenario pertama digunakan sebagai dasar untuk memodelkan dan mengkalibrasi sesuai dengan kondisi eksisting kualitas air sungai. Data yang dimasukkan mencakup informasi tentang kualitas air, data hidrometri, dan hasil perhitungan beban pencemar. Skenario 1 ini juga berfungsi sebagai model kalibrasi.
2. Skenario kedua melibatkan pemodelan yang mengasumsikan bahwa effluent IPAL PTPN XIII Rimba Belian memenuhi standar kualitas air limbah untuk industri minyak sawit, sebagaimana yang diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah. Tujuan dari skenario ini adalah untuk mengevaluasi dampak dari pembuangan air limbah industri terhadap kualitas air sungai.
3. Skenario ketiga melibatkan pemodelan yang mengasumsikan bahwa tidak ada outfall dari pabrik PTPN XIII Rimba Belian di lokasi penelitian yang membuang limbah ke sungai. Tujuan dari skenario ini adalah untuk menilai sejauh mana dampak kegiatan industri terhadap kualitas sungai.
4. Skenario keempat melibatkan pemodelan dengan peningkatan beban pencemar sebesar 50% pada semua segmen. Tujuan skenario ini yaitu untuk mendapatkan kapasitas daya tampung sungai terhadap beban pencemaran di lokasi penelitian.

HASIL PEMBAHASAN

Kalibrasi dan Validasi Model

Kalibrasi adalah langkah yang diambil untuk menyesuaikan nilai konstanta parameter dengan maksud mencapai hasil yang sesuai dengan kondisi kualitas air (Kurniawan et al., 2017). Kalibrasi model untuk parameter BOD dilakukan dengan cara mengubah konstanta BOD Decay Rate Scale Factor dan juga Loads. Penetapan konstanta BOD Decay Rate Scale Factor dan juga Loads ini dilakukan dengan cara trial and error. Kalibrasi model untuk parameter TSS dilakukan dengan cara mengubah Loads. Beberapa pelaksanaan model ini melibatkan trial and error. Hasil kalibrasi model untuk kapasitas beban pencemar BOD dan TSS di Sungai Kapuas di sekitar PTPN XIII Rimba Belian ditampilkan pada gambar berikut.



Gambar 2. (a) Hasil Kalibrasi Model Daya Tampung Beban Pencemar Parameter BOD; (b) Hasil Kalibrasi Model Daya Tampung Beban Pencemar Parameter BOD TSS

Hasil kalibrasi parameter model BOD dan TSS pada setiap segmen mendekati kondisi eksisting parameter BOD dan TSS. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat kesesuaian antara hasil pengukuran lapangan dan perhitungan model, memungkinkan penggunaan model untuk mengevaluasi skenario simulasi berikutnya. Dalam konteks pemodelan, pemanfaatan jarak digunakan untuk menggambarkan perpindahan aliran dari hulu ke hilir, memberikan pemahaman terhadap perubahan konsentrasi beban pencemar yang terjadi pada wilayah penelitian pada jarak tertentu. Hasil kalibrasi yang diperoleh kemudian diuji secara statistik dengan Root Mean Square Error (RMSE) guna menilai seberapa akurat nilai kalibrasi yang diprediksi oleh WASP dalam mencocokkan kondisi aktual di lapangan dengan tingkat kesalahan yang minimal. Hasil uji statistik RMSE dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3. Perhitungan RMSE menghasilkan nilai error sebesar 0,0940 untuk parameter BOD dan sebesar 0,0876 untuk parameter TSS. Berdasarkan nilai tersebut maka dapat disimpulkan tingkatan akurasi hasil prediksi sudah sesuai karena nilai error yang dihasilkan kecil

Tabel 2. Perhitungan RMSE Parameter BOD

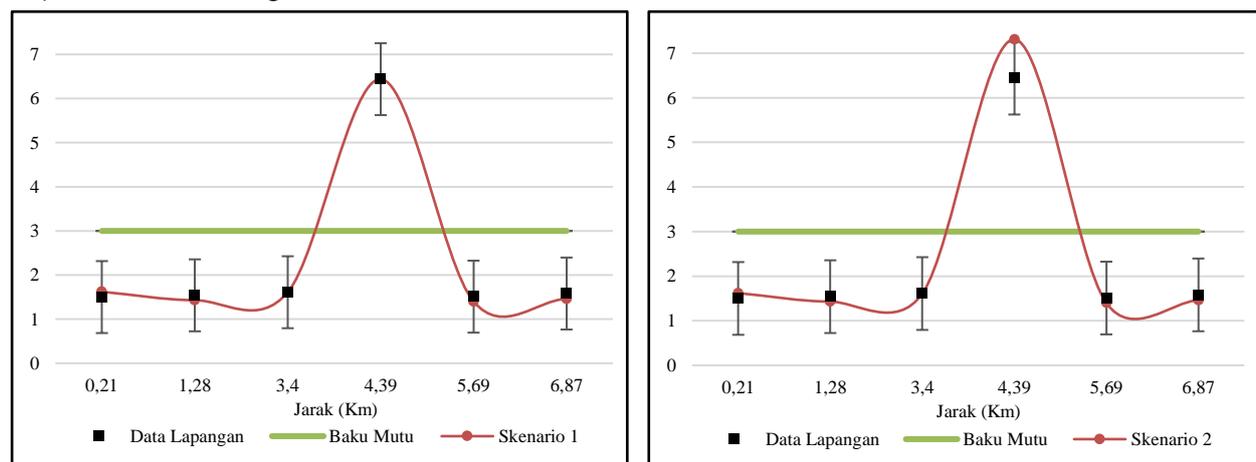
Parameter BOD			
Aktual (y')	Prediksi (y)	Selisih (y' - y)	(y' - y) ²
1,5	1,62	-0,12	0,0144
1,54	1,43	0,11	0,0121
1,61	1,61	0,00	0,0000
6,44	6,44	0,00	0,0000
1,51	1,40	0,11	0,0121
1,58	1,46	0,12	0,0144
Jumlah			0,0530
RMSE			0,0940

Tabel 3. Perhitungan RMSE Parameter TSS

Parameter TSS			
Aktual (y')	Prediksi (y)	Selisih ($y' - y$)	$(y' - y)^2$
8	7,85	0,15	0,0225
7,33	7,31	0,02	0,0004
6	5,90	0,10	0,0100
6	6,03	-0,03	0,0009
8	7,99	0,01	0,0001
8	7,89	0,11	0,0121
Jumlah			0,0460
RMSE			0,0876

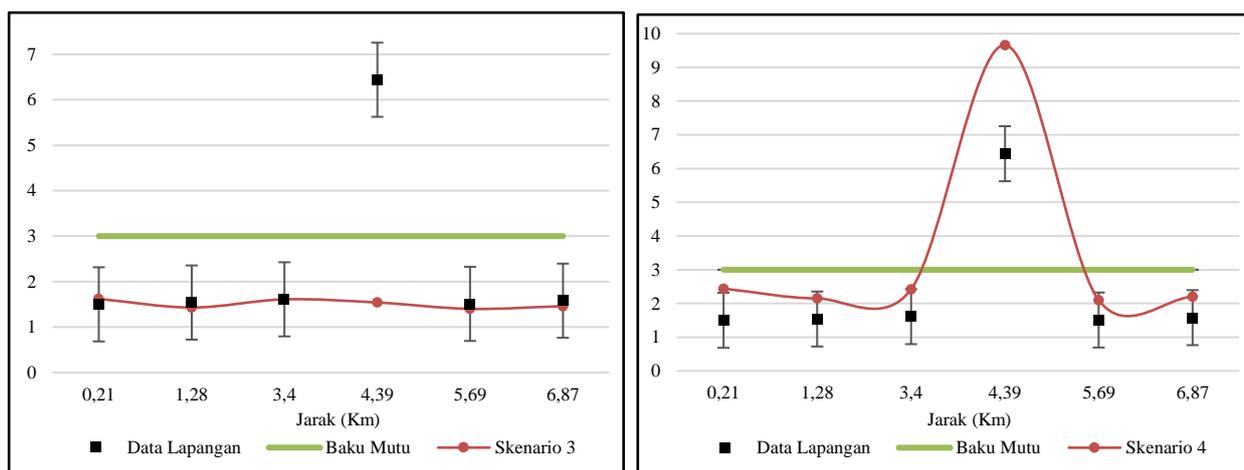
Simulasi Pemodelan Parameter BOD

Berdasarkan hasil simulasi skenario pertama, yaitu skenario dengan data eksisting dapat dilihat jika nilai BOD pada segmen 4 melebihi baku mutu air bersih dengan nilai BOD eksisting sebesar 6,44 mg/L. Hal ini dikarenakan pada segmen 4 tersebut terdapat outfall IPAL PTPN XIII Rimba Belian, sehingga kadar BOD pada sungai melebihi baku mutu air bersih peruntukkan kelas II. Data eksisting BOD untuk effluent IPAL PTPN XIII Rimba Belian adalah sebesar 55 mg/L yang dimana nilai ini masih memenuhi baku mutu air limbah industri minyak sawit berdasarkan Permen LH No. 5 tahun 2014, yaitu dengan nilai baku mutu BOD sebesar 100 mg/L. Melalui hal tersebut, maka perlu dilakukan pengkajian ulang pada pengolahan IPAL PTPN XIII Rimba Belian karena dengan kondisi effluent yang masih memenuhi baku mutu air limbah masih dapat mencemari sungai.



Gambar 3. (a) Skenario dengan Keadaan Eksisting; (b) Skenario Effluent IPAL PTPN Sesuai Baku Mutu Air Limbah Pabrik Sawit

Berdasarkan hasil simulasi skenario kedua, yaitu skenario dengan keadaan effluent IPAL PTPN XIII Rimba Belian dalam kondisi memenuhi baku mutu air limbah untuk industri minyak sawit seperti yang tertera pada Permen LH No. 5 tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah, yaitu dengan nilai 100 mg/L untuk nilai BOD. Pada grafik yang terdapat pada Gambar 5. terlihat jika nilai BOD pada segmen 4 mengalami kenaikan bahkan melebihi dari data lapangan dengan nilai hasil simulasi 7,31 mg/L dan nilai data lapangan sebesar 6,44 mg/L. Hal ini dikarenakan nilai BOD data eksisting effluent pada IPAL PTPN XIII Rimba Belian masih berada di bawah baku mutu air limbah dengan nilai BOD eksisting 55 mg/L, sehingga saat dilakukan simulasi pada skenario ini terjadi penambahan pada nilai BOD. Melalui grafik tersebut maka perlu dilakukan pengurangan beban pencemar untuk segmen 4 agar konsentrasi BOD dapat memenuhi standar baku mutu.

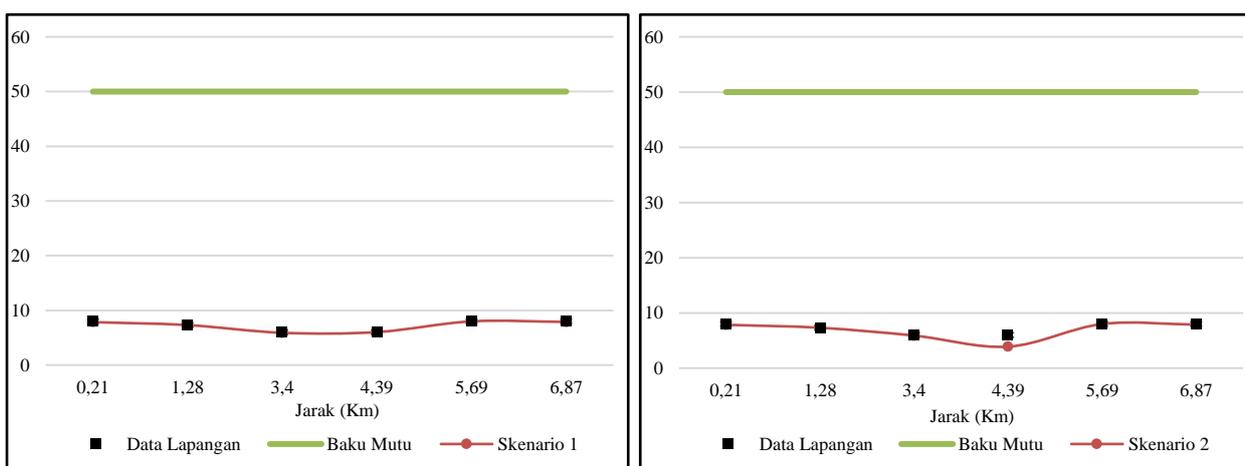


Gambar 4. (a) Skenario Keadaan Sungai Tanpa Adanya Outfall PTPN; (b) Skenario Penambahan Beban Pencemar 50%

Hasil simulasi skenario ketiga, yang merupakan kondisi sungai tanpa outfall dari IPAL PTPN XIII Rimba Belian, menunjukkan bahwa nilai BOD pada semua segmen memenuhi standar baku mutu air kelas II. Hal ini menunjukkan bahwa outfall dari IPAL PTPN XIII Rimba Belian memiliki dampak yang signifikan dalam meningkatkan kadar BOD di sungai. Oleh karena itu, ketika dilakukan skenario tanpa outfall PTPN XIII dan hanya dengan kegiatan domestik sebagai sumber pencemarnya, hasil simulasi menunjukkan nilai BOD yang rendah, yaitu 1,54 mg/L. Nilai ini berada di bawah baku mutu peruntukkan air kelas II, menunjukkan potensi perbaikan kualitas air sungai jika kegiatan industri dihilangkan. Sedangkan hasil simulasi skenario keempat, yang melibatkan peningkatan beban pencemar sebesar 50%, terlihat bahwa nilai BOD pada semua segmen masih memenuhi standar kualitas air bersih untuk kelas II, kecuali pada segmen 4 yang memiliki nilai BOD sebesar 9,66 mg/L. Oleh karena itu, diperlukan tindakan penurunan beban pencemar pada segmen 4 agar konsentrasi BOD dapat memenuhi standar kualitas yang ditetapkan.

Simulasi Pemodelan Parameter TSS

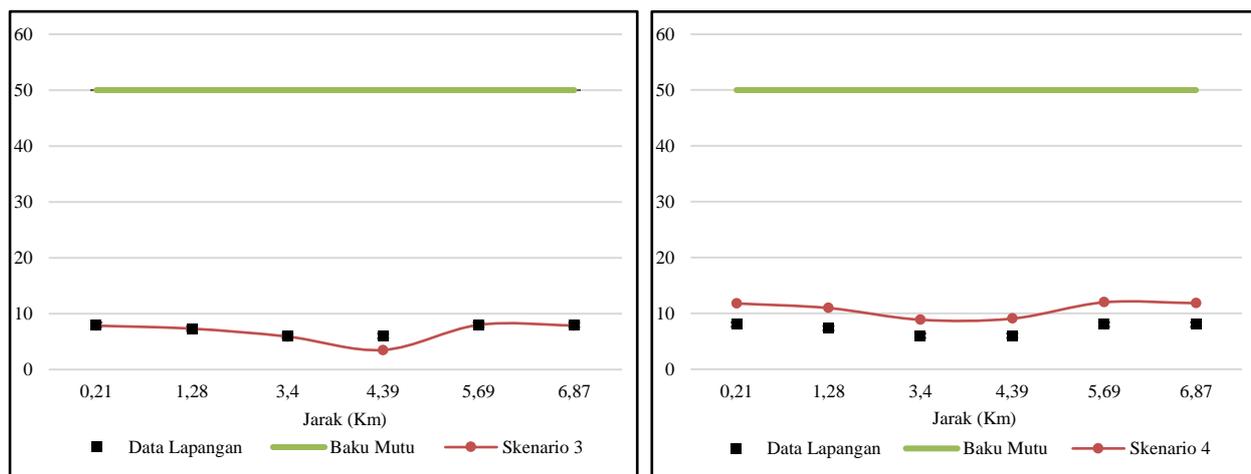
Berdasarkan hasil simulasi skenario pertama dengan melibatkan data eksisting, terlihat bahwa nilai TSS masih berada di bawah standar kualitas air bersih untuk air kelas II, yang memiliki batasan TSS sebesar 50 mg/L. Simulasi menunjukkan kisaran nilai TSS antara 5,90 hingga 7,99 mg/L. Kandungan TSS tersebut dapat mempengaruhi masuknya cahaya matahari ke dalam badan air permukaan, yang selanjutnya dapat menghambat fotosintesis fitoplankton (Purba et al., 2018).



Gambar 5. (a) Skenario dengan Keadaan Eksisting; (b) Skenario Effluent IPAL PTPN Sesuai Baku Mutu Air Limbah Pabrik Sawit

Hasil simulasi skenario kedua, di mana effluent IPAL PTPN XIII Rimba Belian mematuhi baku mutu air limbah untuk industri minyak sawit sesuai dengan Permen LH No. 5 tahun 2014, menunjukkan konsentrasi TSS sebesar 250 mg/L. Dari grafik pada Gambar 9, dapat diamati penurunan nilai TSS dari data lapangan, yaitu 6 mg/L, menjadi 3,89 mg/L dalam hasil simulasi. Penurunan ini disebabkan oleh kondisi effluent IPAL PTPN XIII Rimba Belian yang pada kenyataannya melebihi baku mutu, dengan nilai data eksisting sebesar 408 mg/L. Dengan demikian, saat dilakukan simulasi dengan kondisi effluent IPAL yang mematuhi baku mutu air limbah industri minyak sawit, terjadi penurunan konsentrasi TSS.

Dari hasil simulasi skenario ketiga, yang menggambarkan situasi sungai tanpa adanya outfall dari IPAL PTPN XIII Rimba Belian, terlihat bahwa konsentrasi TSS pada semua segmen mematuhi standar kualitas air kelas II, yang menetapkan batas maksimal TSS sebesar 50 mg/L (Pemerintah Republik Indonesia, 2021). Selain itu, melalui grafik hasil simulasi pada Gambar 10, juga menunjukkan kadar TSS yang lebih dari kondisi eksisting pada segmen 4 dengan nilai TSS hasil simulasi sebesar 3,5 mg/L dan data eksisting sebesar 6 mg/L. Hal ini dikarenakan data eksisting TSS untuk effluent IPAL PTPN XIII Rimba Belian memiliki nilai yang besar dan melewati baku mutu air limbah industri minyak sawit seperti yang tertera pada Permen LH No. 5 tahun 2014 dengan nilai baku mutu TSS sebesar 250 mg/L sedangkan untuk nilai data eksisting TSS pada effluent IPAL PTPN XIII Rimba Belian adalah sebesar 408 mg/L. Berdasarkan hal tersebut dapat disimpulkan jika kegiatan industri PTPN XIII Rimba Belian berperan besar dalam menyumbangkan kadar TSS pada Sungai Kapuas yang terdapat disekitarnya, karena saat dilakukan simulasi skenario dengan anggapan tidak ada outfall PTPN XIII dan hanya ada kegiatan domestik sebagai sumber pencemarnya diperoleh hasil TSS yang menurun dari data lapangan, walaupun pada data eksisting kadar TSS pada semua segmen masih berada jauh di bawah baku mutu air bersih peruntukkan air kelas II. Akan tetapi, dengan adanya simulasi skenario dengan keadaan sungai tanpa adanya outfall dari IPAL PTPN XIII Rimba Belian menunjukkan jika kualitas air sungai pada lokasi penelitian dapat menjadi lebih baik lagi dari kondisi yang ada.



Gambar 6. (a) Skenario Keadaan Sungai Tanpa Adanya Outfall PTPN; (b) Skenario Penambahan Beban Pencemar 50%

Dari hasil simulasi skenario keempat, yang melibatkan peningkatan beban pencemar sebesar 50%, dapat diamati bahwa terjadi peningkatan kadar TSS di semua segmen. Meskipun demikian, nilai tersebut masih berada jauh di bawah standar kualitas air bersih untuk air kelas II. Oleh karena itu, sungai masih mampu menampung beban pencemar TSS. Faktornya adalah kemampuan sungai dalam menanggulangi masukan beban pencemaran tanpa melebihi kapasitasnya dalam menjalankan proses pemurnian alami atau self-purification. Hal ini diperkuat oleh waktu kontak yang mencukupi dan jarak yang memadai. Sehingga, sungai masih memiliki kapasitas untuk menampung pencemaran (Novita et al., 2023). Untuk mencegah kapasitas daya tampung Sungai Kapuas di lokasi penelitian melebihi beban pencemar, diperlukan pengurangan. Strategi pengolahan limbah cair dapat membantu mengurangi tingkat pencemaran (Hendrawan et al., 2015; Hidayah et al., 2023). Oleh karena itu, kapasitas sungai untuk menampung pencemaran akan bertambah.

Perhitungan daya tampung beban pencemar (DTBP) diperlukan sebagai bagian dari strategi pengelolaan pencemaran untuk berbagai sumber pencemar yang memasuki sumber air, dengan mempertimbangkan karakteristik alami sumber air dan standar mutu air yang ditetapkan (Kurniawan et al., 2017). Berdasarkan hasil simulasi skenario yang dilakukan, Sungai Kapuas pada lokasi penelitian dapat menampung beban pencemar hingga 50% penambahan beban pencemaran. Rekapitulasi beban pencemar pada lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi Beban Pencemar dalam (kg/hari)

Skenario	Segmen					
	1	2	3	4	5	6
Skenario 1 BOD	3873,15	2909,74	3989,84	13975,54	3193,77	4453,72
Skenario 2 BOD	3873,15	2909,74	3989,84	15862,98	3193,77	4453,72
Skenario 3 BOD	3873,15	2909,74	3989,84	3337,44	3193,77	4453,72
Skenario 4 BOD	5809,73	4364,61	5984,76	20963,31	4790,66	6680,58
Baku Mutu BOD	7257.06	6178.71	7540.79	6591.45	6953.53	9282.49
Skenario 1 TSS	9320,53	7426,03	7285,40	6505,86	9063,43	11925,43
Skenario 2 TSS	9320,53	7426,03	7285,40	4190,47	9063,43	11925,43
Skenario 3 TSS	9320,53	7426,03	7285,40	3773,40	9063,43	11925,43
Skenario 4 TSS	13980,80	11139,04	10928,11	9758,79	13595,15	17888,14
Baku Mutu TSS	59398.19	50835.72	61688.54	53881.85	56738.56	75664.77

Daya tampung beban pencemar pada penelitian ini menggunakan nilai beban pencemar dari baku mutu air bersih kelas II. Kemudian dilakukan perhitungan untuk mencari selisih antara skenario pertama, yaitu skenario dengan kondisi eksisting dan baku mutu untuk mencari tahu selisih bernilai positif atau negatif. Berdasarkan Keputusan Menteri LHK No. 317/Menlhk/Setjen/KUM.1/7/2018 Tentang Penetapan Daya Tampung Beban Pencemaran Air Dan Alokasi Beban Pencemaran Air Sungai Kapuas, nilai negatif menunjukkan jika beban eksisting lebih kecil dari DTBP, sehingga tidak diperlukan penurunan beban. Sedangkan untuk nilai positif menunjukkan jika beban eksisting telah melampaui DTBP, sehingga perlu penurunan beban pencemaran. Rekapitulasi DTBP Sungai Kapuas pada lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Rekapitulasi Daya Tampung Beban Pencemar

Segmen	Beban Pencemar Eksisting (kg/hari)	Daya Tampung Beban Pencemar (kg/hari)	Selisih Antara Eksisting dan DTBP (kg/hari)
BOD			
1	3873,15	7257.06	-3383,91
2	2909,74	6178.71	-3268,97
3	3989,84	7540.79	-3550,95
4	13975,54	6591.45	7384,09
5	3193,77	6953.53	-3759,76
6	4453,72	9282.49	-4828,77
TSS			
1	9320.53	59398.19	-50077,66
2	7426.03	50835.72	-43409,69
3	7285.40	61688.54	-54403,14
4	6505.86	53881.85	-47375,99
5	9063.43	56738.56	-47675,13
6	11925.43	75664.77	-63739,34

Menurut tabel tersebut, parameter BOD menunjukkan nilai negatif pada sebagian besar segmen, dengan hanya segmen 4 yang menunjukkan nilai positif. Hal ini mengindikasikan bahwa segmen 4 telah melampaui kapasitasnya dan tergolong sebagai tercemar, tidak mampu menampung lebih banyak kontaminan dalam aliran sungai. Untuk memenuhi kapasitas sungai, beban pencemar BOD pada segmen 4 perlu dikurangi. Di sisi lain, nilai negatif untuk parameter TSS tercatat pada semua segmen, menunjukkan bahwa sungai di lokasi tersebut masih menerima beban pencemar TSS dan belum mencapai kapasitas

maksimalnya. Alokasi beban pencemar kemudian digunakan untuk menentukan jumlah beban pencemar yang harus dikurangi berdasarkan jenis sumber polusi (sektoral). Tabel 6 menjelaskan bagaimana alokasi beban pencemar dilakukan.

Tabel 6. Alokasi Beban Pencemaran

Segmen	Beban Pencemar Berdasarkan Sektor (kg/hari)		
	Domestik	Industri	Perkebunan
BOD			
1	-879,82	-101,52	-2402,57
2	-849,93	-98,07	-2320,97
3	-923,25	-106,53	-2521,17
4	1919,86	221,53	5242,70
5	-977,54	-112,79	-2669,43
6	-1255,48	-144,86	-3428,43
Total	-2966,16	-342,24	-8099,87
TSS			
1	-25539,61	-21032,61	-3505,44
2	-22138,94	-18232,07	-3038,68
3	-27745,60	-22849,32	-3808,22
4	-24161,75	-19897,92	-3316,32
5	-24314,32	-20023,55	-3337,26
6	-32507,06	-26770,52	-4461,76
Total	-156407,28	-128805,99	-21467,68

Tabel 6 menunjukkan nilai alokasi beban pencemar pada sektor domestik, industri dan perkebunan. Alokasi beban pencemaran untuk parameter BOD terbesar terdapat pada sektor industri dengan alokasi beban pencemar sebesar -342,24 kg/hari dan yang terkecil terdapat pada sektor perkebunan dengan alokasi beban pencemaran sebesar -8099,87 kg/hari. Besarnya nilai alokasi beban pencemar pada sektor industri menunjukkan jika sektor industri memiliki peran yang cukup besar dalam menyumbangkan beban pencemaran BOD pada sungai di lokasi penelitian dikarenakan memiliki nilai yang mendekati positif. Sedangkan alokasi beban pencemaran untuk parameter TSS terbesar terdapat pada sektor perkebunan dengan alokasi beban pencemar sebesar -21467,68 kg/hari dan yang terkecil terdapat pada sektor domestik dengan alokasi beban pencemaran sebesar -156407,28 kg/hari. Besarnya nilai alokasi beban pencemar pada sektor perkebunan menunjukkan jika sektor perkebunan memiliki peran yang cukup besar dalam menyumbangkan beban pencemaran TSS pada sungai di lokasi penelitian dikarenakan memiliki nilai yang mendekati positif. Berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan No. 317/Menlhk/Setjen/KUM.1/7/2018 Tentang Penetapan Daya Tampung Beban Pencemaran Air Dan Alokasi Beban Pencemaran Air Sungai Kapuas, nilai negatif menunjukkan jika beban eksisting lebih kecil dari DTBP, sehingga tidak diperlukan penurunan beban. Sedangkan untuk nilai positif menunjukkan jika beban eksisting telah melampaui DTBP, sehingga perlu penurunan beban pencemaran. Kapasitas berlebih pada sungai dapat menghambat proses self-purifikasi yang didukung oleh kapasitas lingkungan. Pemulihan akan terjadi ketika beban pencemar yang masuk ke sungai kurang dari kapasitas lingkungan; namun, jika melebihi kapasitas lingkungan, proses pemulihan dapat memakan waktu lama atau bahkan tidak terjadi (Komarudin et al., 2015).

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil pengumpulan data dan identifikasi sumber pencemar di sekitar Sungai Kapuas dalam wilayah penelitian, dapat disarikan bahwa pencemar berasal dari tiga sumber utama, yakni kegiatan rumah tangga, aktivitas perkebunan, dan operasional pabrik PTPN XIII Rimba Belian. Hasil simulasi semua skenario menunjukkan jika pabrik PTPN XIII memiliki peran yang cukup besar dalam menyumbangkan parameter BOD dan TSS. Hasil simulasi untuk parameter BOD menunjukkan penurunan yang signifikan saat dilakukan simulasi skenario dengan keadaan sungai tanpa adanya outfall dari IPAL PTPN XIII Rimba Belian, begitupula dengan parameter TSS dengan selisih antara data lapangan dan hasil simulasi untuk parameter BOD sebesar 4,9 mg/L dan TSS sebesar 2,5 mg/L.

Daya tampung beban pencemaran pada lokasi penelitian untuk parameter BOD menunjukkan nilai negatif pada seluruh segmen kecuali pada segmen 4 yang bernilai positif menunjukkan jika sungai sudah tercemar dan tidak sanggup menerima pencemaran yang masuk/dimasukkan kedalam aliran sungai tersebut. Sedangkan untuk parameter TSS menunjukkan nilai negatif yang artinya sungai pada lokasi masih dapat menerima beban pencemar TSS dan belum melewati daya tampung.

Rekomendasi untuk penelitian mendatang melibatkan kebutuhan untuk mengukur parameter amonia dan fosfat, memungkinkan pemodelan di seluruh titik. Selain itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk memahami dampak setiap konstanta parameter yang digunakan dalam simulasi pemodelan. Disarankan juga untuk meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap pelestarian kualitas lingkungan dan sumber daya air melalui program sosialisasi dan pembinaan intensif.

DAFTAR PUSTAKA

- Bokings, S. F. (2020). Analisis Neraca Aliran Sungai. *Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa Dan Teknologi*, 4(1), 28–37.
- Gus Nengsih, K., Purnaini, R., & Saziati, O. (2023). Pendekatan Model WASP (Water Quality Analysis Simulation Program) pada Pencemaran Logam Berat Cd di Sungai Kapuas Kecil. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 11(1), 084. <https://doi.org/10.26418/jtlb.v11i1.59397>
- Hendrawan, D., Fachrul, M. F., Silalahi, M. D., & Abduh, H. H. (2015). Pollutant Load Capacity in Pemda Cibinong Lake, Bogor, Indonesia. *International Journal of Engineering Research and Technology (IJERT)*, 4(10), 493–496. www.ijert.org
- Hidayah, Z., Maula, M., & Wardhani, M. K. (2023). Pemodelan arus dan muatan padatan tersuspensi di perairan estuari muara Bengawan Solo Ujung Pangkah Gresik. *Buletin Oseanografi Marina*, 12(1), 87–97.
- Hindriani, H., Sapei, A., Suprihatin, & Machfud. (2013). Identifikasi Daya Tampung Beban Pencemaran Sungai Ciujung dengan Model WASP dan Strategi Pengendaliannya. *Jurnal Bumi Lestari*, 13, 275–287.
- Irsanda, P. G. R., Karnaningroem, N., & Bambang, D. (2014). Analisis Daya Tampung Beban Pencemaran Kali Pelayaran Kabupaten Sidoarjo Dengan Metode QUAL2KW. *Teknik POMITS*, 3(1), 47–52. <http://ejurnal.its.ac.id/index.php/teknik/article/view/5681/1687>
- Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia. (2014). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 13(April), 15–38.
- Komarudin, M., Hariyadi, S., & Kurniawan, B. (2015). Analysis Pollution Load Capacity Pesanggrahan River (Segment Depok City) using Numeric and Spatial Model. *Journal of Natural Resources and Environmental Management*, 5(2), 121–132. <https://doi.org/10.19081/jpsl.5.2.121>
- Kurniawan, B., Hendratmo, A., Safrudin, Fitry, W., Juniarta, J., Wahyudiyanto, & Krismawan, A. (2017). Buku Kajian Daya Tampung Dan Alokasi Beban Pencemaran Sungai Citarum. *Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan*, 91.
- Mahyudin, Soemarno, & Prayogo, T. B. (2015). Analisis kualitas air dan strategi pengendalian pencemaran air sungai metro di kota kepanjen kabupaten malang. *Indonesian Journal of Environment and Sustainable Development*, 6(2), 105–114.
- Keputusan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 317/Menlhk/Setjen/KUM.1/7/2018 tentang Penetapan Daya Tampung Beban Pencemaran Air dan Alokasi Beban Pencemaran Air Sungai Kapuas, (2018).
- Novita, E., Bisri, M. I. M., & Pradana, H. A. (2023). Analisis daya tampung beban pencemaran sungai bedadung Jember menggunakan software wasp. *Jurnal Teknosains*, 13(1), 75. <https://doi.org/10.22146/teknosains.81383>

- Pemerintah Republik Indonesia. (2021). Lampiran VI tentang Baku Mutu Air Nasional - PP Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. *Sekretariat Negara Republik Indonesia*, 1(078487A), 483. <http://www.jdih.setjen.kemendagri.go.id/>
- Purba, R. H., Mubarak, & Galib, M. (2018). Sebaran Total Suspended Solid (Tss) Di Kawasan Muara Sungai Kampar Kabupaten Pelalawan Provinsi Riau Distribution Off Total Suspended Solid (Tss) In The Estuary Of Kampar River District Of Pelalawan Riau Province. *Jurnal Perikanan Dan Kelautan*, 23(1), 21–30.
- Purnaini, R., Sudarmadji, S., & Purwono, S. (2019). Pemodelan Sebaran BOD di Sungai Kapuas Kecil Bagian Hilir Menggunakan WASP. *Jurnal Teknosains*, 8(2), 148–157.
- Rahadi, B., Suharto, B., & Yuke Monica, F. (2013). Identifikasi Daya Tampung Beban Pencemar dan Kualitas Air Sungai Lesti Sebelum Pembangunan Hotel Identifications Capacity Pollutant Loads and Water Quality of Lesti River before the Construction of Hotel. *Jurnal Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 5(4), 1–10.
- Saily, R., Fauzi, M., & Suprayogi, I. (2019). Wasp Model Approach on River Pollution Control With Cod Test Parameters. *Indonesian Journal of Construction Engineering and Sustainable Development (Cesd)*, 2(1), 13–21.
- Viena, V., Bahagia, Nurlaini, & Juanda, R. (2023). Efektivitas Penurunan COD , BOD dan TSS Limbah Industri Sawit Menggunakan Koagulan Kimia dan Ekstrak Alami Pati Pelepah Sawit. *Jurnal Serambi Engineering*, 8(1), 4931–4939.