

Prediksi Sebaran Parameter Polutan Air Limbah pada *Upstream* dan *Downstream* Sungai Area Industri X Mojokerto

Muhammad Dani Dhaifullah dan Tuhu Agung Rachmanto*

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

Email Korespondensi : tuhu.tl@upnjatim.ac.id

Kata Kunci:

Ammonia (NH₄), BOD, COD, Self purification

ABSTRAK

Sungai Gembolo memiliki lebar $\pm 14-15$ m dengan kedalaman 1 hingga 2 m dan mengalir menuju utara (hilir). Dengan adanya pergerakan aliran air sungai, maka terjadi pengenceran searah dengan arah pergerakan aliran sungai. Distribusi parameter polutan akibat pergerakan aliran sungai akan mengakibatkan penurunan konsentrasi polutan seiring dengan semakin jauhnya pergerakan aliran air badan air tersebut (*self purification*). Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui simulasi penurunan konsentrasi parameter kunci dari air limbah terolah yang dihasilkan, antara lain BOD, COD dan amonia (NH₄) pada Sungai Gembolo, Mojokerto. Simulasi sendiri dilakukan selama 15 hari dengan memperhatikan kondisi musim (musim kemarau dan musim hujan) dengan bantuan *software* Mike 21. Hasil dari simulasi pada sepanjang Sungai Gembolo pada saat musim kemarau dan musim hujan memiliki hasil yang berbeda berturut-turut yaitu BOD sebesar 1,02 mg/l dan 0,980 mg/l, COD sebesar 1,4 mg/l dan 1,23 mg/l, dan *ammonia* (NH₄) sebesar 0,386 mg/l dan 0,381 mg/l. Dari simulasi tersebut jika dibandingkan dengan baku mutu yang disyaratkan masih berada dibawah baku mutu.

Keyword:

Ammonia (NH₄), BOD, COD, Self purification

ABSTRACT

The Gembolo River is $\pm 14-15$ m wide with a depth of 1 to 2 m and flows towards the north (downstream). With the movement of river water flow, there will be an influence in the direction of the movement of the river flow. The distribution of pollutant parameters due to the movement of the river flow will result in a decrease in pollutant concentrations along with the further movement of the water flow of the water body (self-purification). This study aims to determine the simulation of decreasing the concentration of key parameters from the resulting treated wastewater, including BOD, COD, TSS, ammonia (NH₄) and total coliform in the Gembolo River, Mojokerto. The simulation itself was carried out for 15 days taking into account seasonal conditions (dry season and rainy season) with the help of Mike 21 software. The results of the simulation along the Gembolo River during the dry season and rainy season have different results, namely a BOD of 1.02 mg/l and 0.980 mg/l, COD of 1.4 mg/l and 1.23 mg/l, and ammonia (NH₄) of 0.386 mg/l and 0.381 mg/l. From the simulation, when compared with the required quality standard, it is still below the quality standard.

1. PENDAHULUAN

Pergerakan massa air di sekitar lokasi dipengaruhi oleh besar kecilnya debit yang berasal dari Sungai Gembolo. Selain itu juga dipengaruhi oleh lebar sungai yang ada. Pada sungai gembolo sendiri memiliki lebar $\pm 14-15$ m dengan kedalaman 1 hingga 2 m. Secara umum, massa air bergerak ke arah utara menuju hilir sungai yang berada pada Sungai Sadar yang merupakan aliran yang berada pada DAS (Daerah Aliran Sungai) Brantas. Kecepatan pergerakan massa air juga dipengaruhi oleh curah hujan yang terjadi. Pada saat musim hujan maka debit air relatif normal hingga tinggi, akan tetapi saat kondisi musim kemarau debit air relatif kecil.

Pola sebaran air limbah yang dibuang ke perairan (badan air permukaan) terutama dipengaruhi oleh pergerakan massa air di lokasi tersebut. Kecepatan pergerakan massa air yang semakin besar akan menyebabkan pergerakan air limbah di perairan (badan air permukaan) yang semakin luas. Hasil analisis sebaran air limbah di badan air menyimpulkan bahwa secara umum, sebaran air limbah relatif bergerak menuju utara (hilir) mengikuti pergerakan aliran air yang terjadi di lokasi PT. X. Dengan adanya pergerakan aliran air sungai, maka terjadi pengenceran searah dengan arah pergerakan aliran sungai. Distribusi polutan akibat pergerakan aliran sungai akan mengakibatkan penurunan konsentrasi polutan seiring dengan semakin jauhnya pergerakan aliran air badan air tersebut.

PT. X merupakan salah satu industri yang menghasilkan air limbah terolah dengan parameter-parameter penting seperti BOD, COD, dan *ammonia* (NH₄). Dikarenakan jika pembuangan air limbah tidak terkelola dengan baik dapat menyebabkan pencemaran lingkungan dan berdampak negatif pada kesehatan manusia dan lingkungan hidup. Menurut Firmansyah *et al.* (2021), pencemaran yang timbul dari faktor biologi, kimia maupun fisika tersebut jika melebihi baku mutu akan berdampak negatif untuk biota perairan serta manusia jika digunakan dalam kehidupan sehari-hari.

Penelitian ini memiliki tujuan untuk melakukan simulasi penyebaran air limbah industri X pada Sungai Gembolo dengan memfokuskan pada parameter kunci dari air limbah terolah, seperti BOD, COD, dan *ammonia* (NH₄) dengan menggunakan bantuan dari *software* MIKE 21.

2. METODE PENELITIAN

Simulasi pemodelan ini dilakukan pada bulan Agustus tahun 2023. Penelitian dilakukan di daerah perairan Sungai Gembolo, Tunggalpager, Kec. Pungging, Kab. Mojokerto, Jawa Timur. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif dan deskriptif. Durasi simulasi model hidrodinamika dilakukan selama 15 hari menggunakan bantuan *software* MIKE 21. Materi yang digunakan pada penelitian ini berupa data primer dan sekunder. Data primer didapatkan melalui hasil observasi, sedangkan data sekunder diperoleh dari Dokumen ANDAL PT. X. Data yang digunakan antara lain data pergerakan massa air dan kadar maksimum parameter air limbah.

Tabel 1. Debit Air Sungai Gembolo

Musim	Kecepatan	Satuan
Musim Hujan	7,29-41,24	m ³ /detik
Musim Kemarau	5,14-23,62	m ³ detik

Tabel 2. Kadar Maksimum Parameter Air Limbah

Parameter	Kecepatan	Satuan
BOD	30	mg/L
COD	100	mg/L
Amoniak	10	mg/L

Dengan koordinat pemantauan kualitas air PT. X sebagai berikut:

Tabel 3. Koordinat Pemantauan Kualitas Air PT. X

Lokasi	Kecepatan		Keterangan
	Lintang	Bujur	
Titik Outfall	08°31'36,44"	112°34'12,76"	Outfall IPAL Domestik
Titik Pantau 1	07°31'38,37,985"	112°34'12,575"	Upstream sungai Gembolo (<1,0 km sebelum outfall)
Titik Pantau 2	07°31'37,869"	112°34'12,863"	Downstream sungai Gembolo (<1,0 km setelah outfall)

Metode analisis data model sebaran air limbah PT.X pada wilayah penelitian diolah dengan menggunakan *software*

Mike 21. Setelah itu dilakukan analisis distribusi konsentrasi parameter pencemaran pada wilayah sungai, dilakukan dengan menganalisisnya menggunakan model yang diperoleh dari program MIKE21 Eco Lab dengan menggunakan persamaan (1). Sedangkan persamaan (2) digunakan untuk menghitung transpor polutan. Model MIKE21 yang umum digunakan dalam analisis kualitas air mencakup model hidrodinamik dan persamaan fisika, kimia, dan biologi yang terintegrasi. Hasil dari model MIKE21 dapat mengidentifikasi kadar nutrisi dan senyawa organik yang berlebihan dalam air (Panda *et al.*, 2015). Data yang dihasilkan dari model Eco Lab MIKE21 adalah model mobilisasi massa dan model distribusi air limbah. Gambar yang ditampilkan menunjukkan pola sebaran air limbah dan pola pergerakan massa.

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} + w \frac{\partial c}{\partial z} = D_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + D_z \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} + S_c + P_c \quad (1)$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} = S_c + P_c \quad (2)$$

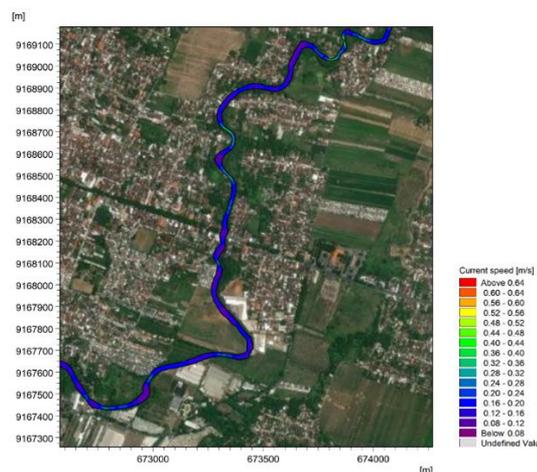
Keterangan:

- c : konsentrasi variabel ECOLab
- u, v, w : komponen arus
- Dx, Dy, Dz : koefisien dispersi
- Sc : komponen source dan sink
- Pc : proses ECOLab
- ADc : perubahan konsentrasi karena efek adveksi dan dispersi

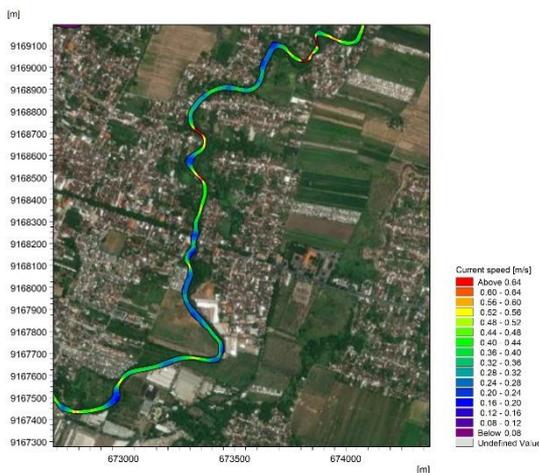
Setelah dilakukan pemodelan, hasil dari pemodelan kemudian dibandingkan dengan baku mutu yang disyaratkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pergerakan Massa Air



Gambar 1. Pergerakan Massa Air Musim Kemarau



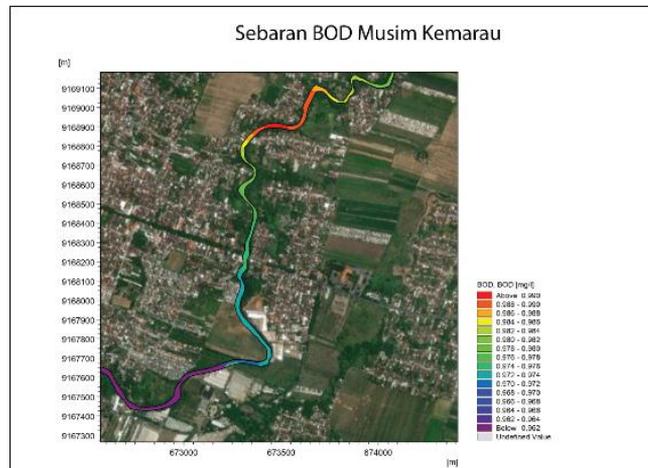
Gambar 2. Pergerakan Massa Air Musim Hujan

Pada saat musim kemarau saat terjadinya debit air tertinggi, kecepatan massa air tertinggi yang terdapat pada sungai gambolo adalah 0,6 hingga 0,64 m/s. Sedangkan arus terlemah memiliki kecepatan <0,08 m/s. Terlihat pada sepanjang aliran sungai massa air memiliki kecepatan rata – rata 0,12 hingga 0,16 m/s. Sedangkan saat musim hujan terjadi, dengan debit air tertinggi yang ada maka kecepatan massa air tertinggi pada kali gambolo adalah 0.60 hingga 0.67 m/s dan kecepatan massa air terlemah adalah 0.16 hingga 0.2 m/s. Sepanjang kali gambolo rata – rata kecepatan massa air yang ada adalah 0.2 m/s. Kecepatan massa air sungai gambolo paling tinggi berada pada saat kondisi musim hujan terjadi. Hal ini dikarenakan debit sungai dipengaruhi oleh curah hujan yang terjadi di lokasi sepanjang tahun.

3.2 Simulasi Penyebaran BOD

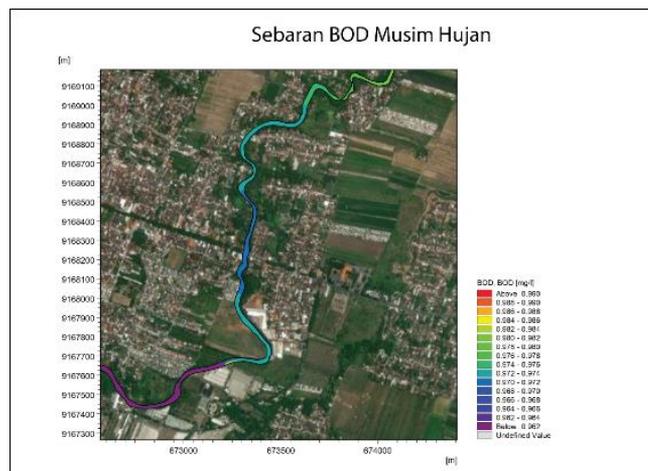
Kebutuhan oksigen biokimia merupakan pendekatan pengukuran kadar bahan organik dengan melihat jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme aerobik dalam mengoksidasi bahan organik tersebut (Effendi, 2003). Namun, pengukuran BOD5 hanya menggambarkan kadar bahan organik yang dapat terdekomposisi secara biologis atau *biodegradable organics*. Menurut Novotny dan Olem (1994), proses dekomposisi biologis di perairan dapat mengubah bahan organik menjadi bagian-bagian yang lebih sederhana seperti air, karbon dioksida, mineral, dan residu bahan organik lain yang tidak dapat didekomposisi secara biologis (*non-biodegradable*). Menurut Effendi (2003), perairan alami memiliki nilai BOD antara 0.5 mg/liter sampai 7.0 mg/liter, sedangkan perairan dengan nilai BOD lebih dari 10.0 mg/liter tergolong ke dalam perairan tercemar.

Simulasi sebaran BOD dilakukan selama 15 hari dengan memperhatikan kondisi musim (musim kemarau dan musim hujan). Simulasi menggunakan konsentrasi nilai maksimum dari karakteristik air limbah dari aktivitas buangan limbah yakni 30 mg/l.



Gambar 3. Sebaran BOD Musim Kemarau

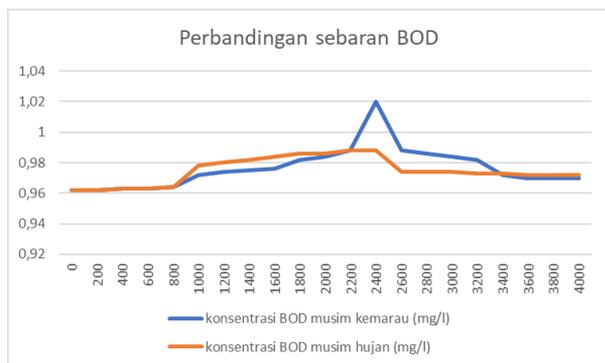
Pada saat musim kemarau terjadi berdasarkan hasil simulasi selama 15 hari menunjukkan sebaran konsentrasi BOD yang berasal dari *outfall* telah meninggalkan sumber sejauh lebih dari 2 km menuju kali sadar. Konsentrasi tertinggi terdapat pada jarak 1,4 km dengan nilai konsentrasi mencapai 1,02 mg/l. Nilai konsentrasi pada titik pemantauan menunjukkan nilai yang rendah, di mana pada titik *downstream* memiliki nilai 0,970 – 0,972 mg/l. Sedangkan pada titik *upstream* nilai konsentrasi memiliki nilai yang lebih rendah yakni berkisar 0,962 – 0,964 mg/l. Pada sekitar area *outfall* nilai konsentrasi BOD memiliki nilai 0,974 hingga 0,984 mg/l.



Gambar 4. Sebaran BOD Musim Hujan

Pada saat musim hujan terjadi berdasarkan hasil simulasi selama 15 hari menunjukkan sebaran konsentrasi BOD yang berasal dari *outfall* telah meninggalkan sumber sejauh lebih dari 2 km menuju kali sadar. Nilai konsentrasi BOD yang terdapat pada sepanjang Kali Gambolo memiliki nilai <1 mg/l. Hal ini dikarenakan dengan adanya pergerakan massa air yang mendominasi penyebaran yang hampir merata di sepanjang kali gambolo. Konsentrasi BOD yang terdapat di kali gambolo pada saat musim hujan memiliki nilai 0,976 – 0,980 mg/l. Pada titik pemantauan menunjukkan nilai yang rendah, yakni pada titik *downstream* memiliki nilai konsentrasi 0,972 – 0,974 mg/l dan pada titik *upstream* memiliki nilai 0,962 – 0,964 mg/l. Pada sekitar *outfall* nilai konsentrasi 0,978 hingga 0,986 mg/l.

Jika dilihat dari grafik perbandingan konsentrasi sebaran BOD berikut:



Gambar 5. Grafik Perbandingan Konsentrasi Sebaran BOD

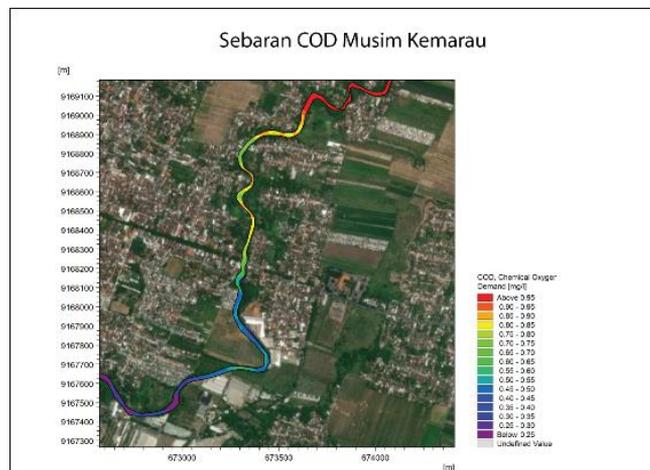
Akumulasi terbesar pada sepanjang kali gembolo pada saat musim kemarau adalah 1,02 mg/l sedangkan pada saat musim hujan adalah 0,986 mg/l, jika dibandingkan dengan baku mutu yang disyaratkan masih berada di bawah baku.

3.3 Simulasi Penyebaran COD

Effendi (2003) menggambarkan COD sebagai jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimiawi, baik yang dapat didegradasi secara biologis (*biodegradable*) maupun yang sukar di degradasi secara biologis (*non biodegradable*) menjadi CO₂ dan H₂O. Pada prosedur penentuan COD, O₂ yang dikonsumsi setara dengan jumlah dikromat yang diperlukan untuk mengoksidasi air sampel. Pengukuran COD didasarkan pada kenyataan bahwa hampir semua bahan organik dapat dioksidasi menjadi CO₂ dan H₂O dengan bantuan oksidator kuat (Kalium Dikromat/K₂Cr₂O₇) dalam suasana asam.

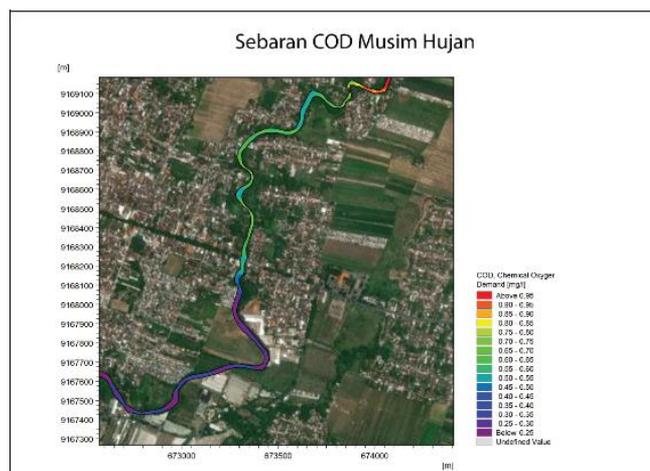
Banyak zat organik yang tidak mengalami penguraian biologis secara cepat berdasarkan pengujian BOD 5 (lima) hari, tetapi senyawa organik tersebut juga menurunkan kualitas air. Bakteri dapat mengoksidasi zat organik menjadi CO₂ dan H₂O. Kalium dikromat dapat mengoksidasi lebih banyak lagi, sehingga menghasilkan nilai COD yang lebih tinggi dari BOD untuk air yang sama. Sementara itu bahan-bahan yang stabil terhadap reaksi biologi dan mikroorganisme teroksidasi dalam uji COD. Sembilan puluh enam persen hasil uji COD yang selama 10 menit, kira-kira akan setara dengan hasil uji BOD selama lima hari (Kristianto, 2002).

Simulasi sebaran COD dilakukan selama 15 hari dengan memperhatikan kondisi musim (musim kemarau dan musim hujan). Simulasi menggunakan konsentrasi nilai maksimum dari karakteristik air limbah dari aktivitas buangan limbah yakni 100 mg/l.



Gambar 6. Sebaran COD Musim Kemarau

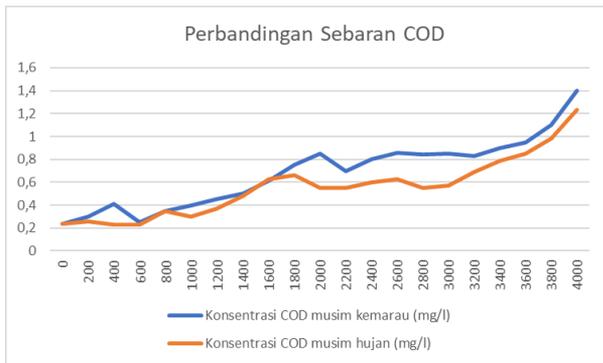
Pada saat musim kemarau terjadi berdasarkan hasil simulasi selama 15 hari menunjukkan sebaran konsentrasi COD yang berasal dari *outfall* telah meninggalkan sumber sejauh lebih dari 2 km menuju kali sadar. Konsentrasi tertinggi terdapat pada jarak 1,8 km dengan nilai konsentrasi mencapai 1,4 mg/l. Pada sepanjang kali gembolo nilai rata – rata konsentrasi COD adalah 0,82 mg/l. Nilai konsentrasi pada titik pemantauan menunjukkan nilai yang rendah, di mana pada titik *downstream* memiliki nilai 0,45 – 0,50 mg/l. Sedangkan pada titik *upstream* nilai konsentrasi memiliki nilai yang sama yakni berkisar 0,045 – 0,50 mg/l. Pada sekitar area *outfall* nilai konsentrasi COD memiliki nilai 0,4 hingga 0,50 mg/l.



Gambar 7. Sebaran COD Musim Hujan

Pada saat musim hujan terjadi berdasarkan hasil simulasi selama 15 hari menunjukkan sebaran konsentrasi COD yang berasal dari *outfall* telah meninggalkan sumber sejauh lebih dari 2 km menuju kali sadar. Nilai konsentrasi tertinggi berada pada jarak 2 km dari *outfall* di mana pada titik tersebut nilai konsentrasi COD mencapai 1,23 mg/l. Sebaran yang terjadi cenderung merata dikarenakan tingginya pergerakan massa air yang bergerak selama musim hujan. Konsentrasi COD yang terdapat di kali gembolo pada saat musim hujan memiliki nilai rata – rata 0,5 mg/l hingga 0,60 mg/l. Pada titik pemantauan menunjukkan nilai yang rendah, yakni pada titik *downstream* memiliki nilai konsentrasi <0,25 mg/l dan pada titik *upstream* memiliki nilai 0,30– 0,40 mg/l. Pada sekitar *outfall* nilai konsentrasi <25 mg/l.

Jika dilihat dari grafik perbandingan konsentrasi sebaran COD berikut:



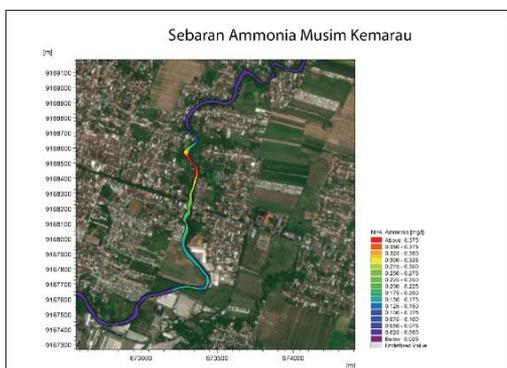
Gambar 8. Grafik Perbandingan Konsentrasi Sebaran COD

Akumulasi terbesar pada sepanjang kali gembolo pada saat musim kemarau adalah 1,4 mg/l sedangkan pada saat musim hujan adalah 1,23 mg/l, jika dibandingkan dengan baku mutu yang disarankan masih berada di bawah baku.

3.4 Simulasi Penyebaran Ammonia (NH₄)

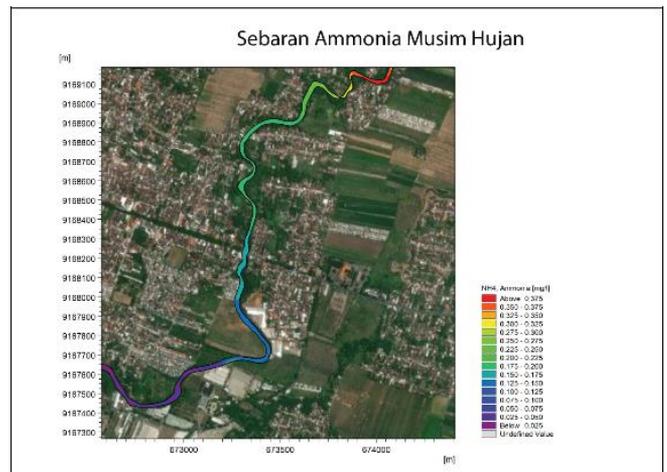
Ammonia di perairan berasal dari sisa metabolisme (ekskresi) hewan dan proses dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme. Menurut Effendi (2003), sumber *ammonia* lainnya di perairan adalah gas nitrogen dari proses difusi udara yang tereduksi di dalam air. *Ammonia* di perairan akan ditemukan lebih banyak dalam bentuk ion amonium jika pH perairan kurang dari 7, sedangkan pada perairan dengan pH lebih dari 7, *ammonia* bebas atau *ammonia* tak-terionisasi yang bersifat toksik terdapat dalam jumlah yang lebih banyak (Novotny dan Olem, 1994). Menurut Abel (1989), tingkat toksisitas *ammonia* tak terionisasi tergantung pada kondisi pH dan suhu di suatu perairan, sehingga kenaikan nilai pH dan suhu menyebabkan proporsi *ammonia* bebas di perairan meningkat. Menurut Effendi (2003), kadar *ammonia* pada perairan alami tidak lebih dari 0.1 mg/liter. Kemudian jika konsentrasi *ammonia* tak-terionisasi lebih dari 0.2 mg/liter akan bersifat toksik bagi beberapa jenis ikan dan udang di perairan. Sementara itu, toksisitas *ammonia* terhadap organisme akuatik akan meningkat jika terjadi penurunan kadar oksigen terlarut, pH, dan suhu.

Simulasi menggunakan konsentrasi nilai maksimum dari aktivitas buangan limbah (10 mg/l), sedangkan kondisi alami dari kali gembolo adalah tidak terdeteksi atau nol.



Gambar 9. Sebaran *Ammonia* Musim Kemarau

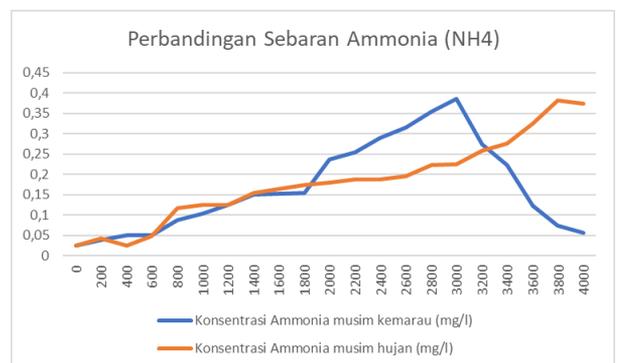
Pada saat musim kemarau terjadi berdasarkan hasil simulasi selama 15 hari menunjukkan sebaran konsentrasi NH₄ yang berasal dari *outfall* telah meninggalkan sumber sejauh lebih dari 1,2 km menuju kali sadar. Konsentrasi tertinggi terdapat pada jarak 1,1 km dengan nilai konsentrasi mencapai 0,386 mg/l. Nilai konsentrasi pada titik pemantauan menunjukkan nilai yang rendah, di mana pada titik *downstream* memiliki nilai 0,125 – 0,175 mg/l. Sedangkan pada titik *upstream* nilai konsentrasi memiliki nilai yang lebih rendah yakni berkisar 0,025 – 0,050 mg/l. Pada sekitar area *outfall* nilai konsentrasi NH₄ memiliki nilai 0,150 hingga 0,225 mg/l.



Gambar 10. Sebaran *Ammonia* Musim Hujan

Pada saat musim hujan terjadi berdasarkan hasil simulasi selama 15 hari menunjukkan sebaran konsentrasi NH₄ yang berasal dari *outfall* telah meninggalkan sumber sejauh lebih dari 2 km menuju kali sadar. Nilai konsentrasi tertinggi berada pada jarak 2 km dari *outfall* di mana pada titik tersebut nilai konsentrasi NH₄ mencapai 0,381 mg/l. Sebaran yang terjadi cenderung merata dikarenakan tingginya pergerakan massa air yang bergerak selama musim hujan. Konsentrasi NH₄ yang terdapat di kali gembolo pada saat musim hujan memiliki nilai 0,150 hingga 0,350 mg/l. Pada titik pemantauan menunjukkan nilai yang rendah, yakni pada titik *downstream* memiliki nilai konsentrasi 0,125– 0,150 mg/l dan pada titik *upstream* memiliki nilai 0,025– 0,050 mg/l. Pada sekitar *outfall* nilai konsentrasi 0,150 hingga 0,200 mg/l.

Jika dilihat dari grafik perbandingan konsentrasi sebaran ammonia (NH₄) berikut:



Gambar 11. Grafik Perbandingan Konsentrasi Sebaran Ammonia

Akumulasi terbesar pada sepanjang kali gembolo pada saat musim kemarau adalah 0,386 mg/l sedangkan pada saat musim hujan adalah 0,381 mg/l, jika dibandingkan dengan baku mutu yang disyaratkan masih berada di bawah baku.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi sebaran BOD, COD, dan *Ammonia* yang terjadi pada sepanjang sungai gembolo, sebagaimana disajikan pada gambar hasil simulasi menunjukkan pada arah sebaran pada saat musim kemarau dan musim hujan arah sebaran menuju arah utara mengikuti morfologi dari kali gembolo. Sebaran yang terjadi pada saat musim kemarau cenderung lebih lambat jika dibandingkan dengan sebaran yang terjadi masa musim hujan. Hal ini dikarenakan adanya dampak dari curah hujan sehingga menyebabkan bertambahnya debit sungai gembolo.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan berkat dan anugerah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan jurnal ini. Serta mengucapkan terima kasih kepada Pak Tuhi selaku dosen pembimbing yang telah membimbing sehingga penulis mampu menyelesaikan jurnal ini dan kepada orang tua, saudara, teman yang selalu mendukung penulis dalam menyelesaikan pembuatan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abel, P. D. (1989). *Water Pollution Biology*. Ellis Horwood Limited. Chichester, England. 231h.
- Effendi, H. (2003). *Telaah Kualitas Air (Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan)*. Yogyakarta: Kanisius.
- Firmansyah, Yura Witsqa, Onny Setiani, and Yusniar Hanani Darundiati. (2021). "Kondisi Sungai di Indonesia Ditinjau dari Daya Tampung Beban Pencemaran: Studi Literatur." *Jurnal Serambi Engineering* 6.2.
- Kristianto, P. (2002). *Ekologi Industri*. Penerbit ANDI. Yogyakarta.
- Novotny, V., dan H. Olem. (1994). *Water quality: Prevention, Identification, and Management of Difusse Pollution*. New York: van Nostrand Reinhold.
- Panda, U.S., Mahanty, M.M., Rao, V.R., Patra, S., dan Mishra, P., (2015), *Hydrodynamics and Water Quality in Chilika Lagoon - A Modelling Approach*, 8th International Conference on Asian and Pacific Coasts (APAC 2015), *Jurnal Procedia Engineering* No.116, hal. 639-646.