

Evaluasi Daya Tampung Beban Pencemaran Air Sungai Menggunakan Pendekatan Metode Neraca Massa

Muhammad Asyroful Mujib*, Fahrudi Ahwan Ikhsan, Bejo Apriyanto, Sri Astutik, Anik Nur Khasanah

Department of Geography Education, Universitas Jember. Jl. Kalimantan No. 37, Kampus Bumi Tegalboto, Jember, East Java 68121, Indonesia

*Corresponding author: mujib@unej.ac.id

Info Artikel: Diterima 6 Februari 2022 ; Direvisi 1 Mei 2022 ; Disetujui 3 Mei 2022
Tersedia online : 18 Mei 2022 ; Diterbitkan secara teratur : Juni 2022

Cara sitasi (Vancouver): Mujib MA, Ikhsan FA, Ikhsan FA, Apriyanto B, Apriyanto B, Astutik S, Astutik S, Khasanah AN, Khasanah AN. Evaluasi Daya Tampung Beban Pencemaran Air Sungai Menggunakan Pendekatan Metode Neraca Massa. Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia [Online]. 2022 Jun;21(2):152-161. <https://doi.org/10.14710/jkli.21.2.152-161>.

ABSTRAK

Latar belakang: Sungai Bedadung merupakan sungai utama di Daerah Aliran Sungai (DAS) Bedadung yang mengalir di tengah wilayah perkotaan dan berpotensi mengalami pencemaran akibat aktifitas manusia melalui pembuangan limbah domestik, industri, dan pertanian. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik kualitas air sungai dan daya tampung beban pencemaran air di Sungai Bedadung Hulu.

Metode: Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif dengan analisis korelasional dan metode neraca massa. Teknik pengambilan sampel kualitas air dengan cara grab sampling pada delapan segmen yang terdiri dari 8 sampel sumber nirtitik (*non-point source*) dan 1 sampel titik (*point source*) pada kondisi debit rendah di musim kemarau. Parameter yang diuji adalah kualitas fisika air yaitu suhu, pH, Daya Hantar Listrik (DHL) dan *Total Dissolved Solids* (TDS), serta kualitas kimiawi air yaitu *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan *Dissolved Oxygen* (DO).

Hasil: Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh parameter kualitas air Sungai bedadung hulu berdasarkan analisis metode neraca massa memiliki nilai yang tidak melebihi standar baku mutu kualitas air kelas II Peraturan Pemerintah RI Nomor 22 Tahun 2021. Beban Pencemaran Aktual (BPA) untuk kualitas kimiawi air yaitu BOD, COD, dan DO masing-masing sebesar 651,10 kg/hari; 80009,47 kg/hari; dan 3091,70 kg/hari.

Simpulan: Nilai Beban Pencemaran Aktual (BPA) ketiga parameter berada di bawah batas Beban Pencemaran Maksimum (BPM) sehingga masih memiliki selisih daya tampung untuk dapat menerima beban pencemaran. Upaya pengelolaan air limbah dan menjaga kelestarian lingkungan masih diperlukan untuk meningkatkan kualitas air di Sungai Bedadung hulu.

Kata kunci: Kualitas air sungai; beban pencemaran; metode neraca massa; Sungai Bedadung

ABSTRACT

Title: Evaluation of River Water Pollution Load Capacity Using The Mass Balance Method

Background: The Bedadung River is the main river in the Bedadung watershed that flows in the middle of urban areas and can experience pollution due to human activities through domestic, industrial, and agricultural waste disposal. This study aimed to determine the characteristics of river water quality and load capacity of water pollution in the Upper Bedadung River.

Method: This study uses a qualitative descriptive approach with correlational analysis and mass balance methods. The water quality sampling technique was taken through grab sampling on eight segments consisting

of 8 non-point source samples and 1 point source sample at low discharge conditions in the dry season. The parameters tested were the physical quality of water, namely temperature, pH, Electrical Conductivity (DHL) and Total Dissolved Solids (TDS), as well as the chemical quality of water, namely Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), and Dissolved Oxygen (DO).

Result: The results showed that all the water quality parameters of the upstream Bedadung River based on the mass balance method analysis had a value that did not exceed the class II water quality standards of the Republic of Indonesia Government Regulation Number 22 of 2021. Actual Pollution Load (BPA) for the chemical quality of water, namely BOD, COD, and DO each of 651.10 kg/day; 80009.47 kg/day; and 3091.70 kg/day.

Conclusion: The BPA value of the three parameters is below the Maximum Pollution Load (BPM) limit so that it still has a difference in the capacity to accept the pollution load. Efforts to manage wastewater and preserve the environment are still needed to improve water quality in the upstream Bedadung River.

Keywords: River water quality; pollution load; mass balance method; Bedadung River

PENDAHULUAN

Sungai melalui aliran airnya yang kontinyu memiliki peranan dalam membawa muatan materi yang terlarut atau partikulat dari sumber alami maupun dari aktifitas antropogenik.¹ Sumber alami yang membawa material terlarut atau partikulat merupakan hasil interaksi antara aliran sungai dengan batuan, tanah, sedimen dari lokasi geologi daerah aliran sungai, serta kondisi iklim yaitu hujan.² Sedangkan dari aktifitas antropogenik seperti kegiatan perkotaan, industri, pertanian dan peningkatan eksploitasi sumber daya air.³ Aktifitas antropogenik saat ini dengan wilayah perkotaan yang semakin berkembang, aktifitas pertanian yang semakin meningkat, dan manajemen pengelolaan limbah yang belum optimal diyakini pula sebagai indikator utama degradasi kualitas air di berbagai sungai-sungai besar.^{4,5}

Material organik atau anorganik yang dapat menurunkan kualitas air sehingga badan air tidak dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan disebut sebagai polutan atau bahan pencemar.⁶ Dewasa ini dengan emisi polutan yang berlebihan, kualitas air di sebagian besar wilayah gagal memenuhi kriteria standar nasional. Oleh karena itu, penilaian akurat terhadap beban pencemaran air sungai sangat penting bagi pengelolaan dan perlindungan mutu air.⁷

Perlindungan dan pengelolaan mutu air (PPMA) saat ini telah diperbaharui melalui Peraturan Pemerintah RI Nomor 22 Tahun 2021 di Bab III Pasal 107-162.⁸ Hal ini dilakukan dalam rangka untuk menyusun ketentuan baru dan mencabut Peraturan Pemerintah sebelumnya yaitu Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001⁹ untuk pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air. Selain itu, Peraturan Perundang-undangan lainnya yang masih digunakan di bidang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air adalah (1) Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 110 Tahun 2003 tentang perhitungan daya tampung beban pencemaran¹⁰; (2) Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 tentang status mutu air; dan (3) Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 01

Tahun 2010 tentang tata laksana pengendalian pencemaran air.¹¹

Penetapan daya tampung beban pencemaran air dalam penelitian ini mengacu pada Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 110 Tahun 2003.¹⁰ Daya tampung beban pencemaran merupakan kemampuan air untuk menerima masukan beban pencemaran tanpa membuat air tercemar,¹⁰ direkomendasikan pula dari Kepmen LH Nomor 110 Tahun 2003 bahwa diantaranya terdapat tiga metode dalam menentukan daya tampung beban pencemaran yaitu metode neraca massa, metode Streeter-Phelps, dan menggunakan program pemodelan kualitas air seperti QUAL2E atau QUAL2Kw.

Kajian daya tampung beban pencemaran dalam penelitian ini menggunakan metode neraca massa. Metode neraca massa merupakan model kualitas air yang paling dasar dan sederhana dengan memperhitungkan bahan pencemar yang masuk dan keluar dari proses aliran air.^{12,13} Metode neraca massa menentukan konsentrasi rata-rata aliran hilir yang berasal dari sumber pencemar baik itu dari sumber pencemar titik (*point sources*) ataupun sumber non titik (*non-point sources*), dikarenakan beberapa aliran yang bertemu akan menghasilkan aliran akhir, sehingga metode neraca massa sangat sesuai untuk menentukan kualitas beban pencemaran di aliran akhir sungai.^{10, 14.}

Penelitian daya tampung beban pencemaran di Sungai Brantas yang menggunakan metode neraca massa oleh Kustamar dan Wulandari (14) memanfaatkan parameter *Total Suspended Solid* (TSS), *Total Dissolved Solid* (TDS), minyak dan lemak yang menunjukkan bahwa bahwa TSS dan TDS tidak melebihi daya tampung beban pencemaran, sedangkan minyak dan lemak melebihi daya tampung dan baku mutu air kelas III, serta titik pencemaran paling tinggi ditunjukkan pada daerah hilir. Penelitian lainnya dengan metode neraca massa yang dilakukan oleh Yuniarti dkk (15), selain memanfaatkan parameter TSS, juga menggunakan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang melebihi daya tampung beban pencemaran dan melebihi baku mutu Kelas I. Pada

penelitian Ridho (16) selain BOD dan COD, juga ditambahkan parameter *Dissolved Oxygen* (DO), namun hasil analisis metode neraca massa belum sampai pada perhitungan beban pencemaran, sebatas perbandingan hasil perhitungan neraca massa dengan baku mutu air kelas II. Penelitian Widiatmono dkk (17) yang berusaha menerapkan metode neraca massa di Kali Surabaya namun sejatinya belum melakukan analisis perhitungan metode neraca massa untuk beban pencemaran, hanya melakukan perbandingan beberapa parameter kualitas air dengan baku mutu air Kelas II, dan mendapatkan hasil bahwa parameter COD, DO, Nitrat, pH, dan Suhu masih dalam ambang baku mutu air Kelas II, sedangkan parameter BOD, TSS, dan Fosfat telah melebihi baku mutu air kelas II.¹⁷

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah (1) penetapan standar baku mutu air yang digunakan berdasarkan pada Peraturan Pemerintah RI Nomor 22 Tahun 2021, Bab III tentang PPMA, dan dijabarkan pada Lampiran VI tentang baku mutu air nasional. Pada Peraturan Pemerintah tersebut terdapat beberapa parameter yang berubah nilai kadarnya dan ditambahkannya parameter sampah, sedangkan pada penelitian-penelitian sebelumnya mengacu pada Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001; dan (2) Analisis korelasi untuk setiap parameter kualitas air sehingga menjadi indikator sumber pencemar yang bersifat alami atau limbah dari hasil aktifitas manusia.

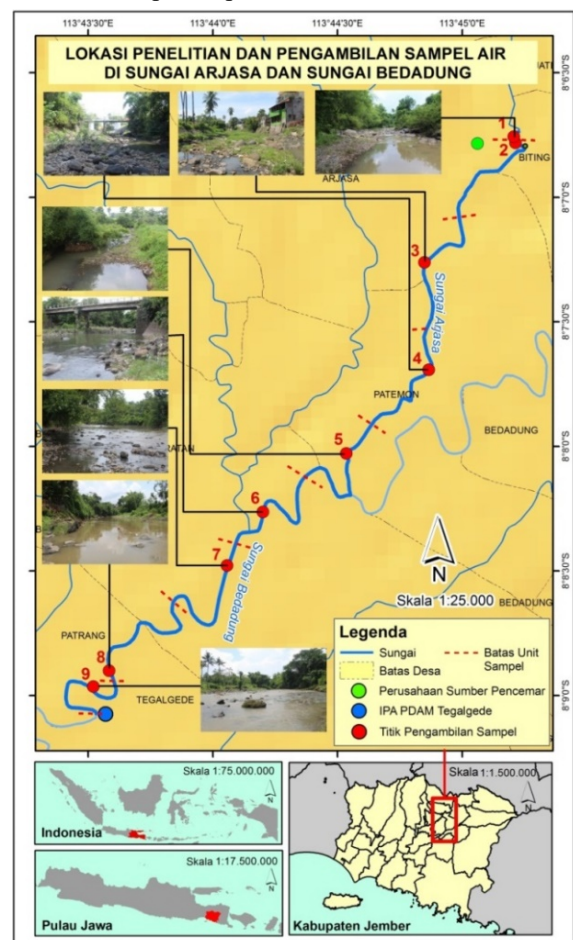
Sungai Bedadung merupakan sungai utama yang melintas di wilayah perkotaan Kabupaten Jember. Wilayah perkotaan yang dilalui diantaranya Kecamatan Arjasa, Pakusari, dan Sumpersari. Analisis Beban pencemaran di DAS Bedadung yang telah teridentifikasi diantaranya di Tegal Besar sebesar 74,03 kg/hari, Sungai Gladaksikur rata-rata 80,55 kg/hari, dan Kali Jompo rata-rata 356,80 kg/hari.^{18,19,20} Sungai Bedadung juga memiliki kandungan logam berat yaitu timbal (Pb) dan Kromium (Cr) yang melebihi ambang batas baku mutu air minum 0,05 mg/l dengan nilai masing-masing 0,61 mg/l dan 0,18 mg/l.²¹ Lebih lanjut, Pradana dkk. (18) dan Azizah dkk. (19) memperkirakan bahwa limbah industri, limbah pertanian, dan domestik merupakan sumber bahan pencemar yang dominan di Sungai Bedadung.

Kondisi di daerah DAS Bedadung hulu teridentifikasi pernah mengalami pencemaran pada Bulan November 2019, tepatnya di Sungai Arjasa dengan seluruh permukaan sungai yang tertutup buih dan berbau tidak sedap, kondisi ini terjadi di Sepanjang Sungai Arjasa yang melintas di Desa Biting dan Desa Patemon.^{22, 23} Sumber pencemaran diperkirakan berasal dari limbah hasil industri Triplek di Desa Biting dan dianggap sebagai sumber pencemar titik (*point source*) dalam penelitian ini, serta adanya sumber pencemar non titik lainnya yang dapat menjadi kontributor utama dalam beban pencemaran sungai.²² Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui

kualitas air di Sungai Arjasa dan Sungai Bedadung dan mengetahui beban pencemaran serta daya tampung beban pencemaran di kedua sungai tersebut.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Sungai Bedadung hulu, Kabupaten Jember, sebagai salah satu sungai utama dari 13 anak sungai yang terdapat di DAS Bedadung. DAS Bedadung merupakan satu dari tiga DAS utama di Kabupaten Jember, selain DAS Mayang di sebelah timur dan DAS Tanggul di sebelah barat. Lokasi penelitian di Sungai Bedadung hulu mengkaji dua sungai yaitu Sungai Arjasa dengan panjang wilayah penelitian adalah 4 km dan Sungai Bedadung dengan panjang wilayah 4 km. Wilayah kajian penelitian meliputi wilayah administrasi Desa Biting, Patemon, Baratan, dan Arjasa. Secara astronomis, Sungai Bedadung dan Sungai Arjasa berada pada koordinat 113°45'14,4" BT dan 8°6'46,8" LS hingga 113°43'33,6" BT dan 8°9'3,6" LS serta ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi penelitian

Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kuantitatif. Variabel bebas (*independen*) dalam penelitian ini adalah kualitas fisika dan kimiawi air. Parameter kualitas fisika air yaitu Suhu, pH, Daya Hantar Listrik (DHL) dan *Total Dissolved Solids* (TDS) yang pengukurannya secara langsung di

lapangan Menggunakan Alat Hanna HI-9813-5, sedangkan untuk kualitas kimiawi air yang dikaji adalah *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Dissolved Oxygen* (DO) yang pengujiannya dilaksanakan di laboratorium Teknik Pengendalian dan Konservasi Lingkungan, FTP, Universitas Jember. Variabel tergantung (*dependen*) dalam penelitian ini adalah beban pencemaran dan daya tampung beban pencemaran.

Salah satu komponen penting dalam analisis beban pencemaran adalah debit sungai, sehingga tahap awal dalam analisis beban pencemaran adalah pengukuran debit sungai yang dilakukan dengan metode *velocity area methods* menggunakan pelampung permukaan, Rumus pengukuran debit sungai diformulasikan pada Rumus 1.

$$Q = A \times V \quad (1)$$

Diterangkan bahwa Q adalah debit sungai pada titik i ($m^3/detik$); A adalah penampang basah aliran (m); dan V adalah kecepatan aliran (m/detik).

Analisis beban pencemaran sungai dilakukan dengan metode neraca massa. Metode ini menghitung konsentrasi rata-rata aliran dari seluruh lokasi penelitian dengan menentukan kualitas aliran akhir dari sungai, yang diformulasikan dalam Rumus 2.

$$C_R = \frac{\sum C_i Q_i}{\sum Q_i} = \frac{\sum M_i}{\sum Q_i} \quad (2)$$

Diterangkan bahwa C_R adalah konsentrasi rata-rata parameter kualitas air di aliran terakhir; C_i adalah konsentrasi parameter pada aliran ke-i, Q_i adalah debit aliran ke-i, dan M_i adalah massa parameter kualitas air pada aliran ke-1.

Beban Pencemaran Aktual (BPA) di lapangan berdasarkan setiap parameter kualitas kimiawi air yang dianalisis menggunakan Rumus 3.

$$BPA = Q \times C \times k \quad (3)$$

Diterangkan bahwa BPA adalah beban pencemaran aktual (kg/hari), Q adalah debit sungai ($m^3/detik$), C adalah konsentrasi parameter (mg/L), dan k adalah konstanta (86,4).

Selanjutnya untuk menentukan Beban Pencemaran Maksimum (BPM) atau daya tampung beban pencemaran, maka konsentrasi tiap parameter disesuaikan dengan baku mutu kualitas air kelas II yaitu untuk BOD 3 mg/L, COD 25 mg/L, dan DO >4 mg/L dan dilakukan perhitungan sesuai dengan Rumus 4.

$$BPM = Q \times C_{maks} \times k \quad (4)$$

Diterangkan bahwa BPM adalah beban pencemaran maksimum (kg/hari), C_{maks} adalah konsentrasi parameter sesuai dengan baku mutu air kelas II (mg/L), dan k adalah konstanta (86,4).

Kemampuan sungai untuk masih dapat menerima beban pencemaran ataukah melebihi daya

tampung dievaluasi dengan melihat selisih antara beban pencemaran maksimum (BPM) dengan beban pencemaran aktual (BPA) yang diformulasikan dengan Rumus 5.

$$Selisih = BPM - BPA \quad (5)$$

Apabila selisih dari beban pencemaran aktual melebihi dari batas pencemaran maksimum menandakan bahwa sungai sudah tidak dapat lagi menampung beban pencemaran dan harus dikurangi untuk parameter-parameter yang telah melampaui batas mutu kualitas air kelas II.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kualitas Air Sungai Arjasa dan Sungai Bedadung

Berdasarkan hasil pengukuran kualitas fisika air di lapangan (suhu, pH, DHL, dan TDS) serta hasil analisis kualitas kimiawi air di laboratorium (BOD, COD, dan DO) didapatkan hasil pengukuran yang dijabarkan pada Tabel 1. Suhu di lokasi penelitian memiliki rentang suhu dari 29,1°C hingga 31,7°C dengan rata-rata suhu 30,5°C. Selanjutnya untuk nilai pH berada pada rentang 7,8 hingga 8,5 dengan rata-rata 8,15. Menurut Asdak (25) nilai pH > 7 menunjukkan sifat pH yang alkaline artinya ada kontaminasi air limbah yang langsung terbuang ke sungai dari hasil mandi, mencuci, dan limbah rumah tangga. Nilai pH di lokasi penelitian masih berada dalam rentang baku mutu air kelas II Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 yaitu dalam rentang nilai pH 6-9.⁸

Nilai DHL di Sungai Arjasa dan Sungai Bedadung berada pada rentang nilai 235 $\mu S/cm$ – 375 $\mu S/cm$ dengan nilai rata-rata 305,6 $\mu S/cm$. Nilai DHL di perairan sungai dipengaruhi oleh konsentrasi ion, keberadaan sedimen terlarut, dan suhu air.²⁴ Lokasi penelitian memiliki nilai TDS pada rentang antara 174 ppm hingga 271,5 ppm, dan rata-rata pada nilai TDS 224,4 ppm. TDS menunjukkan tingkatan sedimen terlarut yang berupa mineral, garam, komponen organik dan anorganik yang terlarut dalam badan air.

Parameter kualitas kimiawi air yaitu BOD, COD, dan DO yang dianalisis dalam penelitian ini merupakan indikator utama yang sering digunakan untuk mengukur tingkat pencemaran organik di badan air.⁶ Nilai BOD Sungai Bedadung dan Arjasa berada pada rentang nilai 0,7 hingga 3,06 mg/L dengan rerata 1,32 mg/L, sedangkan nilai COD berada pada rentang nilai 12 hingga 24 mg/l dengan rerata nilai COD 15,89 mg/l. Kadar nilai BOD untuk analisis kualitas air dalam kisaran normal menurut Bianchi dkk (27) berada pada rentang nilai 0,5-7,0 mg/l, sedangkan air yang tercemar memiliki Nilai BOD diatas 10 mg/l.²⁶, di sisi lain untuk nilai COD pada air yang tidak tercemar harus pada kisaran ≤ 20 mg/L, apabila nilainya >200 mg/L menunjukkan bahwa badan air telah tercemar.²⁷

Tabel 1. Hasil pengukuran kualitas air di Sungai Arjasa dan Sungai Bedadung

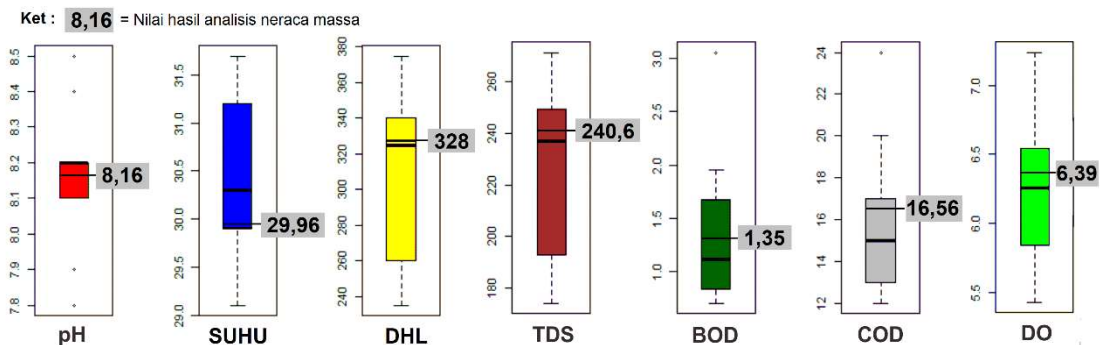
Lokasi Sampel	Sungai	Debit (L/dt)	Suhu (°C)	pH	DHL $\mu\text{S/cm}$	TDS (ppm)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	DO (mg/L)
1	Arjasa	979,57	31,2	8,35	250	184	1,67	14	6,40
2		979,57	31,7	7,85	235	174	3,06	24	6,54
3		1067,39	31,6	8,45	260	193	1,11	13	5,98
4		560,74	30,9	8,05	355	260	0,70	16	5,71
5		804,02	30,3	7,8	285	210	0,83	12	5,84
6	Bedadung	2768,98	29,55	8,2	340	249,5	0,70	15	6,68
7		3038,71	30,3	8,2	325	237	0,83	12	6,26
8		4210,43	29,85	8,2	325	240,5	1,11	17	5,43
9		5599,02	29,1	8,1	375	271,5	1,95	20	7,24
10	Hasil Analisis Metode Neraca Massa		29,96	8,16	328,76	240,65	1,35	16,56	6,39
	Baku Mutu Air Kelas II		Deviasi 3	6-9	-	1000	3,00	25	> 4

Sumber: Analisis data primer, 2021

Nilai DO di lokasi pengamatan berada pada rentang nilai 5,43 hingga 7,24 mg/l dengan rerata nilai 6,23 mg/l. Nilai DO menunjukkan konsentrasi oksigen yang dibutuhkan oleh organisme akuatik dan kadar oksigen yang terlarut dalam air.²⁷ Menurut Peraturan Pemerintah RI Nomor 22 Tahun 2021, Nilai DO pada baku mutu air kelas II harus berada di atas 4 mg/l, apabila kurang dari 4 mg/l menunjukkan bahwa oksigen yang terlarut dalam air dan yang dibutuhkan oleh mikroorganisme akuatik untuk bertahan hidup kadarnya sangat rendah. Hal tersebut dikarenakan semakin badan air tercemar oleh bahan organik, maka semakin banyak pula oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik tersebut, sehingga menyebabkan kadar oksigen terlarut semakin menurun.²⁸ Nilai DO di seluruh lokasi pengamatan menunjukkan angka di atas 4 mg/l yang mengindikasikan kadar oksigen terlarut di badan air Sungai Arjasa dan Sungai Bedadung memiliki kriteria yang baik. Distribusi nilai setiap parameter kualitas air beserta nilai hasil analisis neraca massa disajikan dalam bentuk diagram Boxplot pada Gambar 2.

Parameter DHL dan TDS memiliki korelasi yang tinggi ($R=0,99$) berdasarkan analisis korelasi pearson (Gambar 3). Ketika debit banjir, DHL akan mengalami peningkatan antara 20-30 $\mu\text{S/cm}$ dibandingkan debit normal. Parameter DHL dan TDS mengalami trend kenaikan dari lokasi 1 hingga lokasi 9, hal ini menunjukkan bahwa semakin ke hilir semakin banyak sedimen, komponen organik dan anorganik yang terlarut dan bercampur. Parameter DHL dan TDS berkorelasi negatif dengan suhu, sehingga ketika debit sungai Bedadung mengalami kenaikan karena input dari air hujan, maka suhu akan mengalami penurunan karena tingginya CO_2 yang terlarut dari air hujan, sedangkan sedimen terlarut akibat erosi dari aliran permukaan dan limpasan meningkatkan kandungan mineral dalam air sungai yang akan meningkatkan nilai DHL dan TDS.

Parameter BOD dan COD memiliki korelasi yang tinggi ($R=0,83$). Terdapat peningkatan konsentrasi BOD di lokasi 2 yang merupakan lokasi sumber titik pencemaran (*point source*). Lokasi 2 memiliki nilai BOD sebesar 3,06 mg/L dan nilai COD sebesar 24 mg/L yang keduanya melebihi standar baku mutu air kelas II.



Gambar 2. Diagram Boxplot setiap parameter kualitas air beserta hasil nilai analisis neraca massa

Tingginya nilai BOD dan COD di Lokasi 2 karena adanya tambahan bahan pencemar hasil limbah pabrik triplek yang masuk dalam sistem aliran Sungai Arjasa. Semakin ke arah hilir dari lokasi penelitian

(lokasi 8 dan lokasi 9), nilai BOD dan COD semakin tinggi dikarenakan semakin berakumulasinya bahan pencemar yang masuk ke aliran sungai. Di sisi lain, BOD memiliki korelasi negatif dengan DHL ($R= -$

0,46) dan TDS (R= -0,48). Parameter TDS dan DHL memiliki hubungan yang erat dengan ekosistem daerah aliran sungai, khususnya tipe penggunaan lahan, aktifitas pertanian, dan kondisi iklim, sehingga ketika selesai hujan nilai TDS akan meningkat karena banyak material padat dan terlarut yang masuk ke dalam aliran sungai.²⁹

Parameter DO memiliki korelasi yang sedang dengan BOD (R=0,48) dan COD (R=0,40), karena oksigen terlarut yang berada di badan air juga dipengaruhi oleh turbulensi aliran sehingga meningkatkan pertukaran oksigen di badan air dengan oksigen di udara. Pada lokasi penelitian yang alirannya memiliki turbulensi tinggi (lokasi 1, 2, 6 dan 9) akan memiliki nilai DO yang tinggi pula, namun pada lokasi dengan aliran yang tenang (turbulensi rendah) seperti di lokasi 5 dan 8 memiliki nilai DO yang lebih rendah dibanding dengan lokasi lainnya. Di sisi lain, meskipun korelasi COD dan DO sedang (R=0,40) namun COD merupakan proses pengurangan (reduksi) dari DO oleh reaksi kimiawi. COD digunakan untuk mencirikan tingkat kontaminasi organik dalam air limbah, sehingga semakin besar COD, semakin besar pula oksigen yang dibutuhkan oleh air limbah dari badan air sungai untuk melakukan reaksi kimia pada bahan pencemar organik.³⁰

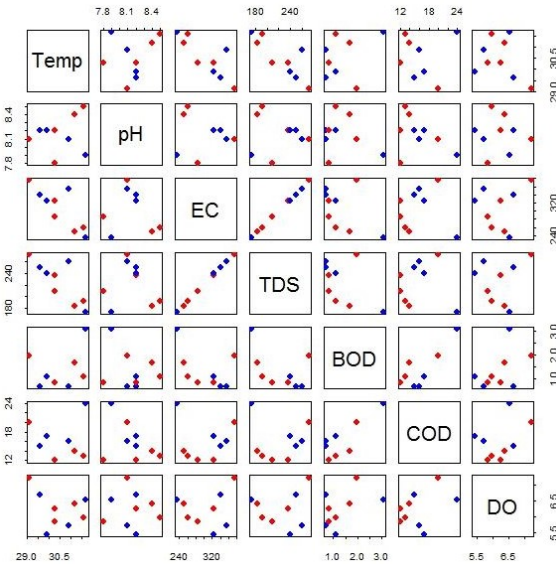
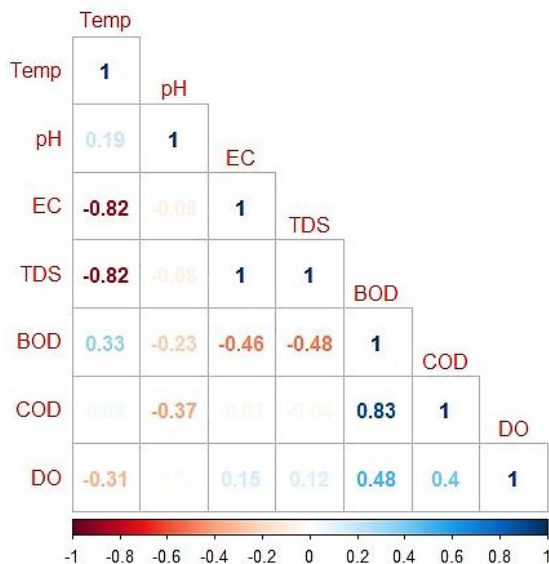
Beban Pencemaran dan Daya Tampung Beban Pencemaran Sungai Bedadung

Hasil perhitungan metode neraca massa dengan Rumus 2 untuk seluruh parameter kualitas air

menunjukkan bahwa seluruh parameter berada di bawah standar baku mutu air kelas II Peraturan Pemerintah RI Nomor 22 Tahun 2021 (Tabel 1).⁸ Selanjutnya untuk beban pencemaran dalam penelitian ini difokuskan pada parameter BOD, COD, dan DO. Ketiga parameter tersebut sebagai indikator tingkat pencemaran dan adanya pencemaran limbah domestik dan perkotaan di badan air.

Beban Pencemaran Aktual (BPA) untuk BOD sebesar 651,10 kg/hari, COD sebesar 8009,47 kg/hari, dan DO sebesar 3091,70 kg hari (Tabel 2). Nilai BPA COD memiliki nilai paling tinggi dibandingkan BOD dan DO. Konsentrasi COD yang tinggi menunjukkan besarnya oksigen terlarut yang dibutuhkan dari badan air untuk melakukan reaksi kimiawi terhadap bahan pencemar organik. Nilai BPA COD meskipun memiliki nilai paling tinggi namun masih dalam batas wajar karena tidak melebihi baku mutu air kelas II. Apabila nilai COD terlalu tinggi (>25mg/L) maka tidak sesuai untuk pertanian dan perikanan. Nilai BOD dan COD yang tinggi akan dapat meningkatkan pencemaran di badan air.¹⁶ Nilai konsentrasi tiap parameter kualitas kimiawi air yaitu BOD, COD, dan DO masih berada di bawah standar baku mutu air kelas II.

Beban Pencemaran Maksimum (BPM) yang dapat ditampung untuk BOD dan COD di Sungai Bedadung saat kondisi debit rendah adalah 1451,27 kg/hari dan 12093,88 kg/hari (Tabel 2). Selisih antara BPA dan BPM untuk BOD adalah 800,16 kg/hari, sehingga Sungai Bedadung masih dapat menerima beban pencemaran untuk BOD sebesar 55,13%.



Gambar 3. Hasil analisis korelasi *pearson* dan *scatter plot* untuk setiap parameter kualitas air

Parameter COD memiliki beban pencemaran yang paling tinggi. Selisih antara BPA dan BPM untuk COD adalah 4084,42 kg/hari, sehingga Sungai Bedadung masih dapat menerima beban pencemaran untuk COD sebesar 33,77% (Tabel 2). Hal ini menjadi

indikasi bahwa sumber pencemar dominan di Sungai Bedadung masih bersifat alami yaitu dari erosi-sedimen dan limbah pertanian. Penelitian lain yang menyatakan bahwa bahwa parameter BOD dan COD telah melebihi kapasitas beban pencemaran seperti di

Sungai Jaing dikarenakan sumber pencemar utama yang berupa limbah rumah tangga, pertanian, dan peternakan, sedangkan di Sungai Ngrowo disebabkan oleh limbah rumah sakit, serta di Sungai Porong yang diakibatkan oleh endapan lumpur lapindo^{15, 31, 32}.

Parameter DO memiliki nilai BPA 3091,70 kg/hari dan nilai BPM sebesar 1935,02 kg/hari, sehingga selisih beban pencemaran adalah 1156,68 kg/hari (Tabel 2). Hal ini mengindikasikan bahwa Sungai Bedadung untuk parameter DO masih dapat menerima beban pencemaran hingga 59,77%, dan

oksigen terlarut masih tersedia di badan air untuk memenuhi kebutuhan mikroorganisme dalam menguraikan bahan pencemar organik. Selaras dengan penelitian Widiatmono (17) di Sungai Surabaya dan Lusiana dkk (34) di Sungai Ngrowo yang menunjukkan parameter DO masih berada di atas ambang batas minimal BPM, sehingga oksigen terlarut masih tersedia di badan air untuk memenuhi kebutuhan mikroorganisme dalam menguraikan bahan pencemar organik.

Tabel 2. Beban pencemaran dan daya tampung beban pencemar di Sungai Bedadung

Parameter	Konsentrasi metode Neraca massa (mg/L)	BPA (kg/hr)	BPM/Daya Tampung (kg/hr)	Selisih Beban (kg/hr)	Dapat Menerima/Tidak dapat menerima Beban	
					Ket	%
BOD	1,35	651,10	1451,27	800,16	Dapat menerima beban	55,13
COD	16,56	8009,47	12093,88	4084,42	Dapat menerima beban	33,77
DO	6,39	3091,70	1935,02	1156,68	Dapat menerima beban	59,77

Ket: BPA = Beban Pencemaran Aktual; BPM = Beban Pencemaran Maksimum (Daya Tampung)

Sumber: Analisis data primer, 2021

Perbandingan Daya Tampung Beban Pencemaran dengan penelitian lain

Analisis metode neraca massa untuk parameter kimiawi air yaitu BOD, COD, dan DO untuk evaluasi daya tampung beban pencemaran di Sungai Bedadung dan sungai-sungai lain di Indonesia yaitu Sungai Garang, Kali Surabaya, Sungai Jaing, Sungai Musi, Kali Porong, dan Sungai Ngrowo diperbandingkan pada Tabel 3. Pemanfaatan metode neraca massa diantaranya telah diaplikasikan dengan sesuai oleh Yuniarti dkk. (15), sedangkan pada penelitian Trilaksono dkk. (35); Widiatmono dkk. (17); Lusiana dkk. (34); serta Auvaria dan Munfarida (33), perhitungan beban pencemaran dilakukan pada setiap titik sampel dengan mengkalikan debit dan konsentrasi unsur kualitas air, sehingga belum mencerminkan metode neraca massa.

Perbandingan beban pencemaran antara Sungai Bedadung dengan sungai-sungai lainnya dalam penelitian ini dilakukan dengan unsur satuan yang sama, yaitu debit sungai dalam satuan m³/detik, konsentrasi BOD, COD, dan DO dari hasil analisis neraca massa, dan baku mutu air berdasarkan baku mutu air kelas II yang dapat berpengaruh terhadap BPM atau daya tampung beban pencemar.

Hasil perbandingan beban pencemar dari ketujuh sungai menunjukkan bahwa Sungai Porong dan Sungai Ngrowo memiliki beban pencemar paling tinggi (Tabel 3). Sungai Porong mengalami tambahan pencemar paling tinggi di titik 4 setelah pembuangan limbah lumpur lapindo, sedangkan Sungai Ngrowo mengalami kenaikan pada titik 2 setelah pembuangan limbah rumah sakit.^{31, 32} BPA COD dan BOD yang tinggi hingga melebihi daya tampung beban pencemaran di kedua sungai tersebut menunjukkan tingginya jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk

menguraikan seluruh bahan organik khususnya limbah sedimen lumpur dan limbah medis untuk terpurifikasi kembali secara alami.

Konsentrasi DO yang rendah dan dibawah batas minimal 4 mg/l terdapat di Sungai Garang dan Sungai Musi yang menunjukkan bahwa oksigen terlarut di badan air sangatlah terbatas. Kadar oksigen yang terbatas dapat menyebabkan kesulitan bertahan hidup untuk hewan-hewan akuatik. Tinggi rendahnya jumlah oksigen dalam badan air dapat dipengaruhi oleh temperatur dan tingkat turbulensi arus. Oksigen terlarut akan lebih sedikit pada suhu yang panas dan turbulensi rendah, sebaliknya pada suhu yang lebih dingin dengan turbulensi tinggi akan dapat meningkatkan kadar oksigen yang terlarut.³⁴ Berdasarkan BPA dan BPM DO di Sungai Musi dan Sungai Garang mengindikasikan bahwa proses purifikasi alami di kedua sungai tersebut membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan proses purifikasi alami di sungai lainnya.

Hal menarik dari perbandingan daya tampung beban pencemaran ini adalah Sungai Bedadung memiliki BPA yang berada di bawah batas ambang daya tampung beban pencemaran untuk ketiga parameter (BOD, COD, dan DO), selisih beban untuk dapat menampung beban pencemaran juga paling besar (33-59%), sedangkan keenam sungai lainnya terdapat satu hingga dua parameter yang sudah tidak dapat menampung beban pencemaran. Hal tersebut mengindikasikan bahwa Sungai Bedadung masih dapat menerima beban pencemaran, kadar oksigen yang terlarut dalam tubuh air juga dapat memenuhi kebutuhan organisme akuatik untuk menguraikan bahan pencemar organik, sehingga proses purifikasi alami dapat berjalan dengan baik.

Tabel 3. Perbandingan daya tampung beban pencemaran antara Sungai Bedadung dengan Sungai yang lain

Sungai	Segmen pengamatan	BPA (kg/hari)			BPM/Daya Tampung (kg/hari)			Selisih Beban			Sumber
		BOD	COD	DO	BOD	COD	DO	BOD	COD	DO	
Sungai Garang, Jawa Tengah	7 segmen	30,62	239,90	251,03	250,08	793,39	994,62	219,46	553,49	(+743,59)	Trilaksono dkk, 2014
Kali Surabaya, Surabaya	3 segmen	4990,87	13480,90	6058,65	2998,94	24991,20	3998,59	(+1991,93)	11510,30	2060,06	Widiatmono dkk, 2017
Sungai Jaing, Tabalong, KalSel	3 segmen (39 km)	418,87	2018,9	-	172,8	864	-	(+246,07)	(+1154,9)		Yuniarti dkk, 2019.
Sungai Musi, Palembang	3 segmen (7,1 km)	9827,30		4955,40	7379,42		9839,23	(+2447,88)		(+4883,83)	Lestari, H. dkk, 2019
Kali Porong, Sidoarjo	4 segmen	75710,40	178382,78		6998,4	58320		(+68712)	(+120062,78)	-	Auvaria dan Munfarida, 2020
Sungai Ngrowo, Tulungagung	3 segmen	35770,09	81899,20	16757,6089	5150,90016	44999,94251	16485,09809	(+30619,19)	(+36899,26)	272,51	Lusiana, dkk. 2020
Sungai Bedadung, Jember	9 segmen (8 km)	651,10	8009,47	3091,70	1451,27	12093,88	1935,02	800,16	4084,42	1156,68	Mujib dkk. 2022

Ket: BPA = Beban Pencemaran Aktual (kg/hari); BPM = Beban Pencemaran Maksimum (kg/hari); Tanda (+...) pada kolom selisih beban = Beban telah melebihi daya tampung beban pencemaran
 Sumber : Analisis data Primer, 2021

SIMPULAN

Hasil analisis metode neraca massa untuk setiap parameter kualitas air yaitu suhu, pH, DHL, TDS, BOD, COD, dan DO di lokasi penelitian, secara keseluruhan parameter-parameter tersebut masih berada di bawah standar baku mutu air kelas II Peraturan Pemerintah RI Nomor 22 Tahun 2021. Selanjutnya dari hasil Beban Pencemaran Aktual (BPA) untuk parameter BOD, COD, dan DO di Sungai Bedadung masih berada di bawah batas Beban Pencemaran Maksimum (BPM). Daya tampung beban pencemaran yang masih dapat diterima berdasarkan ketiga parameter tersebut berada pada kisaran 33-59%, dan paling besar dibandingkan enam sungai lainnya yang dikaji dalam penelitian ini. Kondisi sungai menunjukkan bahwa proses purifikasi alami berjalan dengan baik dan sungai masih dapat menampung beban pencemaran. Di sisi lain, upaya peningkatan kualitas air sungai di Bedadung Hulu juga diperlukan khususnya pengelolaan air limbah sebelum dibuang ke sungai (*pretreatment*) untuk limbah industri dengan memanfaatkan biofilter, menerapkan bioteknologi atau kombinasi penggunaan koagulan sebagai upaya alternatif sekunder dalam mengurangi pencemaran air di Sungai Bedadung.

Ucapan Terima kasih

Penelitian ini merupakan bagian dari Hibah KeRis (Kelompok Riset) dari LP2M Universitas Jember Tahun 2020 yang berjudul "Analisis Kualitas Air dan Beban Pencemaran Sungai Bedadung di Kecamatan Arjasa dan Sumbersari, Kabupaten Jember". Penulis mengucapkan terima kasih atas hibah dana penelitian dari Universitas Jember serta tim dosen dan mahasiswa Kelompok Riset Geografi

Terpadu serta Pengajarannya yang telah banyak membantu selama penelitian di lapangan

DAFTAR PUSTAKA

- Shrestha S, Kazama F. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. *Environmental Modelling & Software*. 2007 Apr; 22(4):464–475. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2006.02.001>
- Berkowitz B, Dror I, Yaron B. *Contaminant Geochemistry*. Berlin: Springer; 2014. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-54777-5>
- Singh KP, Malik A, Sinha S. Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti river (India) using multivariate statistical techniques-A case study. *Analytica Chimica Acta*. 2005 May 4; 538(1–2):355–74. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2005.02.006>
- Chang H. Spatial analysis of water quality trends in the Han River basin, South Korea. *Water Res*. 2008;42(13):3285–304. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.04.006>
- Riechel M, Matzinger A, Pawlowsky-Reusing E, Sonnenberg H, Uldack M, Heinzmann B, et al. Impacts of combined sewer overflows on a large urban river - Understanding the effect of different management strategies. *Water Res*. 2016 Nov;105:264–73. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.08.017>
- Benedini M, Tsakiris G. *Water Quality Modelling for Rivers and Streams - chapter 6* [Internet]. Vol. 70, *Water Science and Technology Library Series*. 2013. 57–67 p. Available from <https://doi.org/10.1007/978-94-007-5509-3>

7. Liu Y, Zhang J, Zhao Y. The risk assessment of river water pollution based on a modified non-linear model. *Water (Switzerland)*. 2018;10(4). <https://doi.org/10.3390/w10040362>
8. Presiden RI. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup [Internet]. Lembaran Negara RI 2021 [cited 2021 Nov 12]. Available from: LN.2021/No.32, TLN No.6634, jdih.setkab.go.id : 374 hlm.
9. Presiden RI. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air [Internet]. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup. 2001 [cited 2021 Nov 12]. p. 1–41. Available from: <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/53103/pp-no-82-tahun-2001>
10. Menteri Negara Lingkungan Hidup. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 110 Tahun 2003 Tentang Pedoman Penetapan Daya Tampung Beban Pencemaran Air Pada Sumber Air [Internet]. Menteri Negara Lingkungan Hidup. 2010 [cited 2021 Nov 12] ;(3):169.
11. Purwandari L. Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Bab III Perlindungan dan Pengelolaan Mutu Air (PPMA). 2021 [cited 2021 Nov 14]; (22).
12. New South Wales Department of Environment and Conservation. Load Calculation Protocol (June 2008): for use by holders of NSW environment protection licences when calculating assessable pollutant loads [Internet]. Sydney: New South Wales Department of Environment and Conservation. 2008 [cited 2021 Nov 14]:10590. <https://www.environment.nsw.gov.au/resources/licensing/08248loadcalcprot.pdf>
13. Loucks DP, van Beek E. *Water Resource Systems Planning and Management: An Introduction to Methods, Models, and Applications*. 2017: 1–624 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-44234-1>
14. Kustamar, Wulandari LK. The Pollution Index and Carrying Capacity of The Upstream Brantas River. *International Journal of Geomate* [Online]. 2020 Sep;19(73):26–32. <https://geomatejournal.com/geomate/article/view/1756>
15. Yuniarti, Biyatmoko D, Hafizianor, Fauzi H. Load Capacity of Water Pollution of Jaing River in Tabalong. *International Journal of Environment Agriculture and Biotechnology* [Online]. 2019 May-Jun;4(3):805–811. <https://doi.org/10.22161/ijeab/4.3.30>
16. Ridho M. Daya tampung beban pencemaran organik di Sungai Batang Arau Kota Padang Propinsi Sumatera Barat. *JOM UNRI* [Online]. 2019 April:33–5.
17. Widiatmono BR, Pavita KD, Dewi L. Studi Penentuan Daya Tampung Beban Pencemaran Kali Surabaya dengan Menggunakan Metode Neraca Massa. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem* [Online]. 2017 Dec;5(3):273–280. <https://jkptb.ub.ac.id/index.php/jkptb/article/view/438/373>
18. Pradana HA, Wahyuningsih S, Novita E, Humayro A, Purnomo BH. Identifikasi Kualitas Air dan Beban Pencemaran Sungai Bedadung di Intake Instalasi Pengolahan Air PDAM Kabupaten Jember. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia* [Online]. 2019 Oct;18(2):135-143. <https://doi.org/10.14710/jkli.18.2.135-143..>
19. Aziza SN, Wahyuningsih S, Novita E. Beban Pencemaran Kali Jompo di Kecamatan Kaliwates Kabupaten Jember. *Jurnal Agroteknologi* [Online]. 2018;12(01):100. <https://doi.org/10.19184/j-agt.v12i1.8340>
20. Wahyuningsih S, Novita E, Ridwan M. Analysis of Pollution Load Capacity at Gladaksikur River in Kalisat Region Jember District. *Prosiding Seminar Nasional Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) Banda Aceh* [Online]. 2-3 November 2017;(3):43–51. <http://tp.unsyiah.ac.id/index.php/seminar/semnas17>
21. Irwansyah W, Sahara E, Ratnayani O. Kandungan Pb dan Cr total dalam air serta bioavailabilitasnya dalam sedimen di perairan sungai bedadung jember. *Cakra Kimia (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)*. 2019Oct;7(2):130–139. <https://ojs.unud.ac.id/index.php/cakra/article/view/56188>
22. Rasi F. Pabrik Kayu Disidak terkait Pencemaran Sungai Arjasa [Internet]. www.jatimpos.id. 2019 Nov 26 [cited 2020 Mar 18]. Available from: <https://www.jatimpos.id/kabar/pabrik-kayu-disidak-terkait-pencemaran-sungai-arjasa-b1Xqf9czi>
23. Ardianto T. Warga Keluhkan Pencemaran Limbah dan Kebisingan Pabrik Kayu di Jember [Internet]. www.beritajatim.com. 2019 Des 5 [cited 2020 Mar 18]. Available from: <https://beritajatim.com/peristiwa/warga-keluhkan-pencemaran-limbah-dan-kebisingan-pabrik-kayu-di-jember/>
24. Sekhar C, Umamahesh NV. Mass balance approach for assessment of pollution load in the Krishna River. *J Environ Sci Eng*. 2004 Apr;46(2):159-71. PMID: 16649607. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16649607/>
25. Asdak C. *Hidrologi dan pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: UGM Press. 1995. <https://ugmpress.ugm.ac.id/id/product/lingkungan/hidrologi-dan-pengelolaan-daerah-aliran-sungai>

26. Kuo YM, Liu W wen, Zhao E, Li R, Muñoz-Carpena R. Water quality variability in the middle and down streams of Han River under the influence of the Middle Route of South-North Water diversion project, China. *J Hydrol* [Internet]. 2019 Feb;(569):218–29. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.12.001>
27. Bianchi E, Dalzochio T, Simões LAR, Rodrigues GZP, da Silva CEM, Gehlen G, et al. Water quality monitoring of the Sinos River Basin, Southern Brazil, using physicochemical and microbiological analysis and biomarkers in laboratory-exposed fish. *Ecohydrology & Hydrobiology*. 2019July; 19(3): 328-338. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2019.05.002>
28. Saksena DN, Garg RK, Rao RJ. Water quality and pollution status of Chambal river in National Chambal sanctuary, Madhya Pradesh. *Journal of Environmental Biology* [Online]. 2008Sept;29(5):701–710. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19295068/>
29. Effendi H, Romanto, Wardiatno Y. Water Quality Status of Ciambulawung River, Banten Province, Based on Pollution Index and NSF-WQI. *Procedia Environmental Sciences* [Internet].2015;24:228–37. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.03.030>
30. Buchari I, Arka W, Putra KGD, Dewi IGAKSP. *Kimia Lingkungan*. UPT Udayana, Bali. 2001;
31. Blume KK, Macedo JC, Meneguzzi A, Silva LB, Quevedo DM, Rodrigues MAS. Water Quality Assessment of The Sinos River, Southern Brazil. *Brazilian Journal of Biology* [Online]. 2010Dec;70 (4 suppl):1185–1193. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842010000600008>
32. Ji ZG. *Hydrodynamics and Water Quality: Modeling Rivers, Lakes, and Estuaries*. 2017. 1–581 p. DOI:10.1002/9781119371946
33. Auvaria SW, Munfarida I. Analisis Daya Tampung Lingkungan (Beban Pencemaran Air) di Kawasan Porong Kabupaten Sidoarjo ex Penambangan Lapindo. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan* [Online]. 2020 Juli; 17(2):104-112 <https://doi.org/10.14710/presipitasi.v17i2.104-112>
34. Lusiana N, Rahadi B, Anggita Y. Determination pollution load capacity of Ngrowo River as wastewater receiver from hospital activities. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*. 2020; 475(012067).
35. Trilaksono G, Sudarno S, Handayani DS. Studi Penentuan Daya Tampung Beban Pencemaran Air Sungai Melalui Pendekatan Software Qual2e Dan Metode Neraca Massa (Studi Kasus : Sungai Garang, Jawa Tengah). *Jurnal Teknik Lingkungan*. 2014;3(1):1–12.
36. Ali H. *Fundamentals of Irrigation and On-farm Water Management*. Volume 1. Springer 2010. [Internet].p1-560. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6335-2>



©2022. This open-access article is distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.