

Pemodelan Deterministik Streeter-Phelps Untuk Evaluasi Kapasitas Self-Purification Dan Dinamika Oksigen Terlarut Pada Sungai Jagir Kota Surabaya

Ariesta Sulistyo Asih¹⁾; Hikmal Akbar Habibie²⁾

^{1,2)}Study Program of Environmental Engineering, Faculty of Engineering and Science, University of Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

Email: ¹⁾ ariesta_sulistyo.tl@upnjatim.ac.id ; ²⁾ 24034010002@student.upnjatim.ac.id

ARTICLE HISTORY

Received [15 Juni 2026]

Revised [20 Juli 2026]

Accepted [25 Juli 2026]

KEYWORDS

Daya Tampung, Self-Purification, DO Sag Curve, Streeter-Phelps, Sungai Jagir.

This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license



ABSTRAK

Sungai Jagir di Kota Surabaya menghadapi tekanan ekologis masif akibat akumulasi beban limbah perkotaan sepanjang 10 km dari Wonokromo hingga Wonorejo. Penelitian ini mengevaluasi Daya Tampung Beban Pencemaran (DTBP) dan kapasitas asimilasi alami (self-purification) menggunakan metode kesetimbangan massa statis serta pemodelan deterministik Streeter-Phelps. Hasil analisis eksisting menunjukkan terjadinya defisit daya tampung total pada parameter Total Fosfor (puncak defisit di segmen tengah sebesar -628,99 kg/hari) dan parameter COD di hilir sebesar -4.354,56 kg/hari. Sebaliknya, parameter BOD, TSS, serta profil DO Sag Curve masih berstatus aman dengan titik kritis Oksigen Terlarut (DO) minimum sebesar 5,557 mg/L di kawasan Mangrove akibat tingginya laju reaerasi alami dan arus cepat ($u = 4,51$ m/detik). Simulasi membuktikan bahwa Skenario Reduksi Beban BOD 50% menjadi intervensi terbaik yang mampu meniadakan defisit oksigen terlarut secara permanen. Kebijakan tata kelola direkomendasikan berfokus pada strategi preventif melalui penegakan regulasi limbah industri.

ABSTRACT

The Jagir River in Surabaya City faces critical ecological pressure due to the accumulation of urban wastewater along a 10 km segment from Wonokromo to Wonorejo. This study evaluated the River Water Pollution Load Capacity (RWPLC) and its natural self-purification capacity using the static mass balance method and Streeter-Phelps deterministic modeling. The baseline analysis revealed a total capacity deficit for Total Phosphorus (peaking at -628.99 kg/day in the middle segment) and a COD deficit of -4,354.56 kg/day in the downstream. Conversely, BOD, TSS, and the DO Sag Curve profile remained safe, with a minimum critical Dissolved Oxygen (DO) of 5.557 mg/L downstream (Mangrove Area) driven by high natural reaeration and rapid stream velocity ($u = 4.51$ m/s). Simulations proved that the 50% BOD Load Reduction Scenario is the most effective intervention to permanently eliminate oxygen deficits. Governance policies are recommended to focus on preventive strategies through strict industrial effluent regulation.

PENDAHULUAN

Pesatnya pertumbuhan penduduk dan akselerasi aktivitas antropogenik di kawasan urban metropolitan kerap memberikan tekanan ekologis yang masif terhadap ekosistem perairan darat. Di kota besar seperti Surabaya, sungai memegang peranan strategis sebagai pengendali banjir, sarana transportasi, hingga sumber utama pemenuhan air baku domestik bagi Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM). Salah satu badan air perkotaan yang sedang menghadapi tantangan kelestarian ini adalah Sungai Jagir, yang mengalir sepanjang 10 km dari Pintu Air Wonokromo melintasi wilayah permukiman padat, area komersial, hingga bermuara di Kawasan Ekowisata Mangrove Wonorejo. Rona lingkungan eksisting di lapangan mengindikasikan adanya penurunan estetika visual, tingginya kekeruhan air, serta akumulasi limbah padat maupun cair akibat pembuangan langsung dari drainase kota tanpa pengolahan (*untreated wastewater*). Penurunan kualitas air di koridor Sungai Jagir ini diperkuat oleh literatur ilmiah terdahulu, seperti riset Wiandari et al. (2024) yang mendeteksi lonjakan konsentrasi *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) hingga 18 mg/L pada musim kemarau, serta kajian Hasibuan et al. (2022) yang menemukan akumulasi kadar fosfat deterjen rumah tangga mencapai 0,45 mg/L di dekat permukiman padat. Tekanan lingkungan serupa juga ditemukan di sungai urban lain, seperti Sungai Karang Mumus (Asrori, 2021) yang mencatat defisit oksigen akibat beban COD antropogenik melebihi 2.500 kg/hari. Meskipun demikian, Sungai Jagir memiliki keunikan hidraulik arus cepat yang menurut Anggraini (2025) memicu laju reaerasi alami (K_2) yang optimal, serta didukung riset Latekeng et al. (2024) mengenai peran hutan mangrove di hilir sebagai *bio-filter* alami penyerap polutan organik hingga 30%.

Berangkat dari fenomena tersebut, penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan menganalisis karakteristik mutu air, mengkuantifikasi total beban pencemar, serta mengevaluasi status daya tampung beban pencemaran melalui pendekatan konsep *DO Sag Curve* menggunakan pemodelan matematika

Streeter-Phelps. Model deterministik klasik ini sangat andal dalam menyimulasikan interaksi linier dinamis antara laju deoksigenasi mikroba (K_1) dan laju reaerasi atmosferik (K_2) sepanjang aliran air berdasarkan perubahan jarak spasial dan waktu tinggal air. Kebaruan (*novelty*) dari penelitian ini terletak pada pengkajian ulang kapasitas asimilasi alami (*self-purification*) Sungai Jagir yang mengintegrasikan pemodelan deterministik dengan karakteristik spasial spesifik sungai urban berarus cepat yang dipengaruhi oleh ekosistem mangrove pesisir di hilirnya. Melalui simulasi berbagai skenario reduksi beban polutan, studi ini dirancang untuk merumuskan strategi intervensi teknis maupun manajemen lingkungan yang paling efektif untuk diterapkan. Pada akhirnya, luaran dari penelitian ini diharapkan dapat menyajikan landasan teoretis dan rekomendasi kebijakan preventif yang kuat bagi pemerintah daerah dalam menetapkan kuota Daya Tampung Beban Pencemaran (DTBP), memperketat regulasi limbah cair, serta menyusun rencana pengelolaan tata ruang air perkotaan yang berkelanjutan di Kota Surabaya.

LANDASAN TEORI

Karakteristik Sumber Daya Air

Karakteristik sumber daya air permukaan, seperti sungai, sangat dinamis karena kondisi hidrologi dan kualitas airnya dipengaruhi oleh faktor iklim, curah hujan, geografis, serta penggunaan lahan di sepanjang Daerah Aliran Sungai (DAS) (Suhudi et al., 2023; Wahyuningsih et al., 2022). Sebagai bagian dari siklus hidrologi, air permukaan terbentuk dari air hujan yang menjadi aliran permukaan (*surface runoff*) sebelum mengalir menuju laut, dengan karakteristik khas berupa aliran searah dari hulu ke hilir serta kemampuan pemurnian diri (*self-purification*) (Suhudi et al., 2023). Namun, pemanfaatan lahan di Sub DAS Jagir untuk permukiman, tambak, dan tegalan memicu peningkatan polutan akibat buangan limbah domestik serta limpasan bahan organik, yang secara spasial mendegradasi parameter fisik dan kimia air dari hulu ke hilir (Wahyuningsih et al., 2022). Fenomena ini terkonfirmasi pada Sub DAS Jagir melalui fluktuasi parameter kualitas air eksisting, di mana konsentrasi BOD tercatat berkisar antara 4,71 mg/L hingga 10,78 mg/L, sementara kadar nitrat berada pada rentang 3,3 mg/L hingga 3,9 mg/L (Wahyuningsih et al., 2022).

Sumber Pencemar Air

Sumber pencemaran air mencakup seluruh aktivitas antropogenik dan material buangan yang menurunkan kualitas air hingga tidak sesuai peruntukannya, terutama berasal dari sektor domestik, industri, pertanian, dan pertambangan yang masuk ke badan air tanpa pengolahan memadai (Hasibuan et al., 2022). Di kawasan perkotaan, tingginya kepadatan penduduk, pertumbuhan aktivitas masyarakat, buruknya manajemen persampahan, serta keterbatasan instalasi pengolahan air limbah menjadi faktor utama yang memperbesar potensi pencemaran sungai (Indirani et al., 2024; Sukristiyono et al., 2021). Aktivitas rumah tangga menyumbang limbah cair dari deterjen, mencuci, dan mandi (Latekeng et al., 2024), sementara sektor industri berkontribusi melalui senyawa kimia berbahaya dan logam berat (Asrori, 2021), yang diperparah oleh limpasan pupuk atau pestisida dari lahan pertanian serta residu pertambangan [18]. Akumulasi kontaminan ini secara signifikan meningkatkan parameter pencemar seperti BOD, COD, amonia, dan *coliform* di perairan, sehingga pengawasan lingkungan yang ketat serta pengelolaan limbah yang komprehensif sangat diperlukan agar kualitas air tetap terjaga sesuai baku mutu (Anggraini, 2025).

Beban Pencemar

Beban pencemar merupakan total massa unsur polutan organik maupun anorganik yang diintroduksi ke badan air dalam periode waktu tertentu sehingga memicu degradasi kualitas air sungai (Desman & Edial, 2022). Parameter kunci yang merefleksikan kondisi beban pencemar di antaranya meliputi BOD, DO, TDS, amonia, parameter mikrobiologi (*Fecal* dan *Total Coliform*), hingga logam berat toksik (Cr, Cu, Zn, Ni) yang berasal dari akumulasi limbah domestik, pertanian, perkebunan, serta sektor industri (Wiandari et al., 2024). Secara kuantitatif, besarnya beban pencemar (kg/hari) dihitung secara matematis menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Beban pencemar} = C \times Q \times 86,4 \dots \dots \dots [1]$$

Dengan:

Beban pencemar dalam kg/hari.

C = konsentrasi pencemar dalam mg/L.

Q = debit aliran dalam m³/detik.

86,4 = faktor konversi satuan.

Apabila laju peningkatan beban pencemar akibat tingginya aktivitas antropogenik dan pertumbuhan penduduk ini terus dibiarkan melampaui batas ambang daya tampung alami sungai, dampaknya tidak hanya menurunkan fungsi sungai sebagai sumber air baku masyarakat, melainkan juga memicu pendangkalan serta kerusakan permanen pada keseimbangan ekosistem akuatik (Pratama et al., 2022). Oleh karena itu, penerapan strategi pengendalian yang komprehensif melalui pengolahan limbah, pemantauan kualitas air berkala, dan manajemen Daerah Aliran Sungai (DAS) secara berkelanjutan sangat krusial dilakukan agar mutu air tetap terjaga sesuai peruntukannya (Hasibuan et al., 2022)

Daya Dukung dan Daya Tampung Air

Daya dukung air merupakan kapasitas sumber daya air dalam memenuhi kebutuhan organisme dan aktivitas manusia secara berkelanjutan, sedangkan daya tampung air berfokus pada kemampuan lingkungan untuk menerima beban polutan antropogenik tanpa mendegradasi fungsi dan mutu ekosistemnya (Purba et al., 2022). Kedua instrumen ini saling berhubungan dan memegang peranan krusial sebagai fondasi pengelolaan sumber daya air yang komprehensif (Azmi, 2024). Akselerasi pertumbuhan populasi, pesatnya pembangunan, serta tingginya intensitas pemanfaatan ruang kota secara signifikan meningkatkan volume permintaan air sekaligus memperbesar beban emisi limbah ke badan air (Febrita & Roosmini, 2022). Ketika pemenuhan kebutuhan air dan akumulasi limbah cair hasil aktivitas manusia telah melampaui ambang batas kritis (*carrying capacity*) kedua parameter tersebut, ekosistem perairan akan kehilangan kemampuan pemulihan alaminya sehingga memicu kelangkaan kuantitas, penurunan kualitas air, serta kerusakan jasa lingkungan secara permanen (Herliana et al., 2020). Oleh karena itu, analisis terintegrasi terhadap daya dukung dan daya tampung air sangat esensial dilakukan guna mempertahankan keseimbangan ekologis serta menjamin keberlanjutan fungsi sumber daya air bagi generasi mendatang (Indriyani et al., 2024).

Model Streeter-Phelps

Model Streeter–Phelps merupakan model matematis yang digunakan untuk menganalisis perubahan oksigen terlarut (DO) pada badan air akibat masuknya bahan pencemar organik (Kartikasari et al., 2024). Model ini menggambarkan hubungan antara proses deoksigenasi, yaitu penggunaan oksigen untuk menguraikan bahan organik, dan proses reaerasi, yaitu masuknya oksigen dari atmosfer ke dalam air. Pemodelan Streeter–Phelps digunakan untuk menggambarkan proses purifikasi alami sungai berdasarkan perubahan nilai DO sepanjang aliran sungai (Telaumbanua, 2025). Laju deoksigenasi dipengaruhi oleh kandungan bahan organik dalam badan air, sedangkan laju reaerasi dipengaruhi oleh kondisi hidraulik sungai seperti kedalaman dan kecepatan aliran (Kurnianingtyas et al., 2020). Hasil pemodelan Streeter–Phelps menunjukkan bahwa nilai DO dapat mengalami penurunan hingga mencapai kondisi kritis sebelum kembali meningkat akibat proses reaerasi alami. Model Streeter–Phelps digunakan untuk menganalisis kemampuan badan air dalam menerima beban pencemaran organik (Wibowo et al., 2026). Persamaan Streeter–Phelps yang digunakan untuk menghitung defisit oksigen terlarut adalah :

$$D_t = \frac{k_d L_0}{k_r - k_d} (e^{-k_d t} - e^{-k_r t}) + D_{01} e^{-k_r t} \dots \dots \dots [2]$$

Dengan:

D_t = defisit oksigen pada waktu ttt

L_0 = BOD ultimate awal

k_d = koefisien deoksigenasi

k_r = koefisien reaerasi

D_0 = defisit oksigen awal

Baku Mutu Kualitas Air

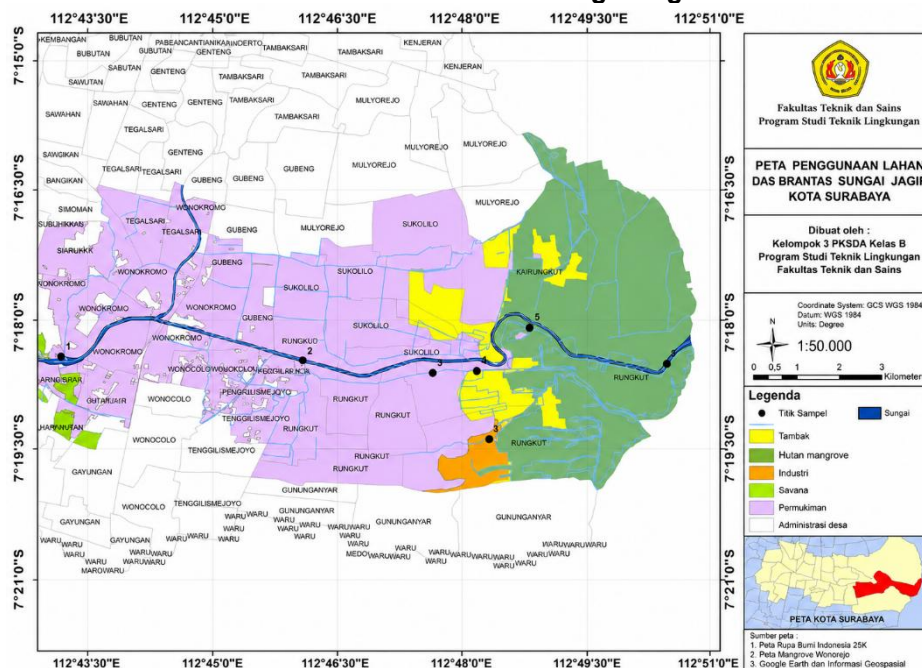
Baku mutu air sungai di Indonesia diatur secara yuridis melalui Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, yang menetapkan ambang batas parameter fisik, kimia, dan mikrobiologi guna memelihara integritas ekosistem perairan (Ma'arij et al., 2025). Berdasarkan regulasi tersebut, badan air sungai diklasifikasikan ke dalam empat kelas fungsional: Kelas I diprioritaskan sebagai sumber air baku air minum; Kelas II diperuntukkan bagi sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, serta irigasi pertanian; Kelas III dialokasikan untuk budidaya perikanan, peternakan, dan pengairan; sedangkan Kelas

IV dikhususkan hanya untuk mengairi pertanian (Pramaningsih et al., 2023). Kondisi riil higienitas perairan ini direfleksikan melalui Indeks Kualitas Air (IKA), yang menyintesis hasil pengukuran parameter krusial seperti pH, *Dissolved Oxygen* (DO), *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solids* (TSS), Nitrat (NO₃-N), Total Fosfat, serta *Fecal Coliform* (Pratama et al., 2022). Apabila hasil komparasi parameter eksisting terhadap standar Kelas I maupun Kelas II melampaui nilai ambang batas legal, tingkat deviasi tersebut akan mengategorikan status mutu air sungai ke dalam tingkat pencemaran tertentu, mulai dari kategori tercemar ringan hingga tercemar berat (Wibowo et al., 2026).

METODE PENELITIAN

Lokasi Badan Air

Gambar 1. Peta Lokasi Sungai Jagir



Badan air yang menjadi lokasi studi adalah Sungai Jagir yang terletak di Kota Surabaya, Provinsi Jawa Timur yang membentang pada daerah Wonokromo pada pintu Air Jagir hingga bermuara ke hutan bakau (mangrove) di kawasan pantai timur Kota Surabaya. Sungai Jagir merupakan salah satu badan air perkotaan yang berperan penting dalam sistem drainase dan aliran air di wilayah Surabaya Timur. Kawasan di sekitar sungai didominasi oleh aktivitas permukiman, perdagangan, dan lalu lintas perkotaan sehingga berpotensi mempengaruhi kualitas air sungai akibat masuknya limbah domestik maupun limpasan permukaan.

Titik Pengamatan

Penelitian ini dilakukan di Sungai Jagir Kota Surabaya pada pada hari Kamis, 21 Mei 2026 pukul 12.13 – 14.20 WIB. Penentuan lokasi sampling secara purposive sampling pada empat titik yang berpotensi mengalami pencemaran (Tabel 1 dan 2), dimana pada setiap titik dilakukan ulangan sebanyak 3 kali pada tipe analisis insitu dilapangan (Sungai Jagir) untuk penentuan parameter kualitas dilakukan pengujian pada Laboratorium Air Terpadu Research Centre Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur dengan pengujian pada setiap sample air stasiun.

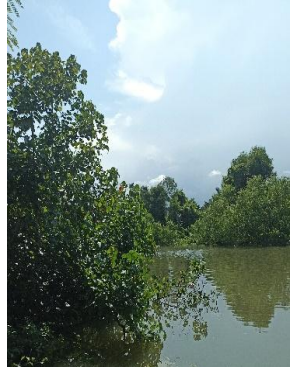
Tabel 1. Lokasi Pengamatan Sungai Jagir

Stasiun	Lokasi Stasiun	Koordinat	Aktivitas
Stasiun 1 (Hulu Sungai)	Pintu Air Jagir, Kelurahan Ngagelrejo Wonokromo Kota Surabaya	LS: -7,300409 BT: 112,741158	Mandi, memancing dan ada inlet PDAM

Stasiun	Lokasi Stasiun	Koordinat	Aktivitas
Stasiun 2 (Setelah Outlet Drainase)	Jembatan Nginden Panjangjiwo Wonokromo, Kota Surabaya	LS: -7,309301 BT: 112,573489	Buangan air limpasan limbah domestik dan drainase
Stasiun 3 (Bagian Tengah)	Depan Kompleks Samator, Kedung Baruk Rungkut Kota Surabaya	LS: -7,310301 BT: 112,773666	Wisata dan pemukiman padat
Stasiun 4 (Hilir Sungai)	Ekowisata Mangrove, Wonorejo Rungkut, Kota Surabaya	LS: -7,307458 BT: 112,823517	Wisata, pemukiman mulai berkurang, terjadi akumulasi pencemaran

Sumber: Hasil Pengamatan Penulis, 2026

Tabel 2. Profil Fisik Lokasi Pengamatan (per Stasiun)

Stasiun 1	Stasiun 2	Stasiun 3	Stasiun 4
			

Sumber: Hasil Pengamatan Penulis, 2026

Parameter

Kualitas air suatu sungai menunjukkan betapa tercemarnya sungai tersebut pada standar tertentu yang ditetapkan. Jika suatu sungai tidak dapat digunakan sebagaimana mestinya, maka sungai tersebut dapat tercemar (Wiandari et al., 2024). Adapun parameter yang dipergunakan antara lain Biological Oxygen Demad (BOD), Dissolved Oxygen (DO), Total Suspended Solid (TSS), pH Air, Suhu, Total Nitrat, Total Pospat dan Chemical Oxygen Demad (COD) yang harus memenuhi baku mutu pada Lampiran VI Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 yaitu:

Tabel 3. Kriteria Baku Mutu Kualitas Air Sungai

Parameter	Satuan	Kelas			
		I	II	III	IV
BOD	mg/l	2	3	6	12
COD	mg/l	10	25	40	80
DO	mg/l	6	4	3	1
TSS	mg/l	40	50	100	400
pH	-	6-9	6-9	6-9	6-9
Temperatur	°C	Dev 3	Dev 3	Dev 3	Dev 3
Total Nitrat	mg/l	10	10	20	20
Total Pospat	mg/l	0,2	0,2	1,0	-

Sumber: Lampiran VI Peraturan Pemerintah No. 22, 2021

Metode Analisis dan Permodelan

Metode analisis dalam penelitian ini dilakukan dengan membandingkan data kualitas air Sungai Jagir dengan baku mutu air berdasarkan PP RI No. 22 Tahun 2021 untuk mengetahui kondisi kualitas badan air. Parameter yang dianalisis meliputi BOD dan DO sebagai indikator pencemaran organik dan ketersediaan oksigen terlarut di dalam air. Selain itu, dilakukan analisis terhadap kondisi fisik badan air,

aktivitas masyarakat, potensi sumber pencemar, serta pengaruh beban pencemar domestik dan limpasan perkotaan terhadap kualitas air sungai.

Analisis self-purification dilakukan secara deskriptif dengan melihat hubungan antara nilai BOD dan DO pada setiap segmen pengamatan. Penurunan kadar DO dan peningkatan BOD digunakan sebagai indikator adanya pencemaran organik pada badan air. Selanjutnya, kondisi hilir sungai yang berada di kawasan mangrove dianalisis untuk mengetahui kemampuan alami sungai dalam melakukan pemulihan kualitas air melalui proses reaerasi, sedimentasi, pengenceran, dan penyaringan alami oleh vegetasi mangrove.

Pemodelan kualitas air dilakukan secara sederhana menggunakan Microsoft Excel berdasarkan data observasi dan data sekunder yang diperoleh dari jurnal penelitian. Persamaan Streeter–Phelps yang digunakan untuk menghitung defisit oksigen terlarut adalah :

$$D_t = \frac{k_d L_0}{k_r - k_d} (e^{-k_d t} - e^{-k_r t}) + D_0 e^{-k_r t}$$

D_t = defisit oksigen pada waktu ttt

L_0 = BOD ultimate awal

k_d = koefisien deoksigenasi

k_r = koefisien reaerasi

D_0 = defisit oksigen awal

Persamaan beban pencemar dapat ditulis sebagai berikut, berdasarkan parameter pengamatan pada lapangan:

$$\text{Beban pencemar} = C \times Q \times 86,4$$

Dengan:

Beban pencemar dalam kg/hari.

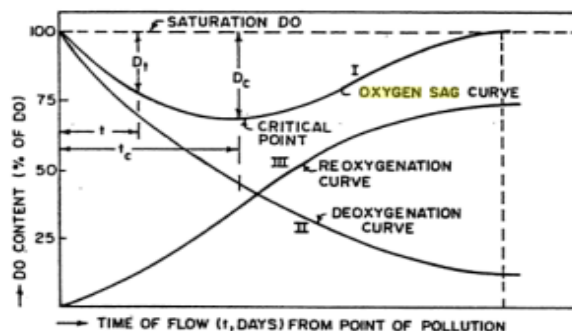
C = konsentrasi pencemar dalam mg/L.

Q = debit aliran dalam m³/detik.

86,4 = faktor konversi satuan.

Pemodelan digunakan untuk menggambarkan perubahan kondisi kualitas air dari hulu hingga hilir Sungai Jagir serta menganalisis pengaruh beban pencemar terhadap kemampuan self-purification badan air. Selain itu, dilakukan interpretasi terhadap kondisi eksisting sungai berdasarkan hasil pengamatan lapangan dan data kualitas air yang tersedia.

Gambar 2. Kurva Deoksigenasi, Rearasi dan Pengurangan Oksigen



HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Kondisi eksisting Sungai Jagir dari segmen hulu hingga segmen tengah menunjukkan tekanan pencemaran yang signifikan akibat dominasi aktivitas perkotaan dan buangan limbah domestik. Pada stasiun hulu, air sungai secara fisik berwarna hijau kecoklatan dengan tingkat kekeruhan sedang, berbau amis, serta permukaannya terindikasi terkontaminasi oleh lapisan minyak, sampah domestik, dan busa deterjen yang terbawa arus turbulen. Penurunan kualitas visual ini terus berlanjut hingga stasiun kedua akibat adanya masukan langsung polutan organik, nutrisi, deterjen, serta minyak dan lemak dari *outlet* drainase perkotaan yang bertindak sebagai sumber pencemar titik (*point source*) yang masif. Memasuki stasiun tengah, badan air mengalami penyempitan morfologi akibat sedimentasi dan pertumbuhan vegetasi air, meskipun kondisi fisik permukaannya relatif lebih stabil tanpa temuan minyak

maupun busa. Walaupun demikian, pengaruh pencemaran di segmen tengah ini tetap persisten akibat adanya *outlet* tambahan dari kawasan permukiman padat serta adanya kontribusi beban sekunder dari aktivitas rekreasi masyarakat setempat.

Sebaliknya, kondisi eksisting pada stasiun hilir menunjukkan karakteristik lingkungan yang jauh lebih alami dengan kualitas air yang relatif lebih baik dibandingkan segmen-segmen sebelumnya. Pada area ini, tekanan aktivitas antropogenik terpantau jauh lebih rendah dan aliran sungai cenderung menjadi lebih tenang. Indikasi pencemaran langsung, seperti lapisan minyak, busa deterjen, maupun pembuangan limbah secara langsung, sudah tidak ditemukan lagi di permukaan air. Keadaan lingkungan yang lebih higienis ini didukung kuat oleh keberadaan ekosistem vegetasi mangrove yang tumbuh cukup rapat di sepanjang bantaran hilir sungai. Komunitas mangrove tersebut memegang peranan ekologis yang sangat vital melalui mekanisme filtrasi alami, penahanan material sedimen, serta optimalisasi kapasitas pemurnian diri (*self-purification*) badan air, sehingga secara efektif mampu memulihkan dan memperbaiki kualitas air Sungai Jagir setelah dihantam beban pencemar masif dari bagian hulu hingga tengah.

Pada hakikatnya tujuan pemantauan kualitas air adalah untuk membandingkan hasil pengukuran dengan baku mutu yang sesuai dengan peruntukan air tersebut, menilai kesesuaian suatu sumber daya air untuk tujuan tertentu, dan mengukur nilai air berdasarkan fisik, parameter kimia, dan biologi [24]. Adapun hasil pemantauan kualitas air secara fisik melalui observasi lapangan dan parameter kimia melalui studi literatur, didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 4. Data Kualitas Air Sungai Jagir

No	Stasiun	Jarak Antar Stasiun	Variabel Kualitas Air							
			BOD (mg/l)	COD (mg/l)	DO (mg/l)	TSS (mg/l)	pH	Suhu (°C)	Tot. Nitrat (mg/l)	Tot. Pospat (mg/l)
1	Stasiun 1	0,0 km	5,10	68,00	5,10	212,00	7,20	30,4	3,40	1,99
2	Stasiun 2	2,50 km	4,80	68,00	4,80	112,00	7,10	31,0	3,30	1,93
3	Stasiun 3	1,60 km	9,90	113,0	4,90	117,00	7,00	31,6	3,50	2,82
4	Stasiun 4	7,10 km	9,50	92,00	4,80	55,00	7,20	31,3	3,70	1,88

Sumber: Data Diolah, 2026

Secara umum, beban pencemar di Sungai Jagir menunjukkan adanya peningkatan yang signifikan pada titik yang menerima masukan langsung dari aktivitas manusia, khususnya pada stasiun setelah outlet drainase dan limbah domestik. Pada titik hulu (T1), beban pencemar seperti BOD, COD, dan TSS sudah tergolong cukup tinggi, yang menandakan adanya pengaruh aktivitas domestik dari kawasan perkotaan. Nilai beban COD dan TSS yang dominan menunjukkan tingginya kandungan bahan organik dan padatan tersuspensi dalam air. Memasuki titik setelah outlet (T2), terjadi peningkatan beban BOD yang cukup signifikan, yang mengindikasikan tambahan limbah organik dari sumber point source seperti saluran drainase dan pembuangan domestik. Meskipun debit aliran sedikit menurun, konsentrasi pencemar yang masuk menyebabkan total beban tetap tinggi.

Tabel 5. Ringkasan Beban BOD,COD dan TSS

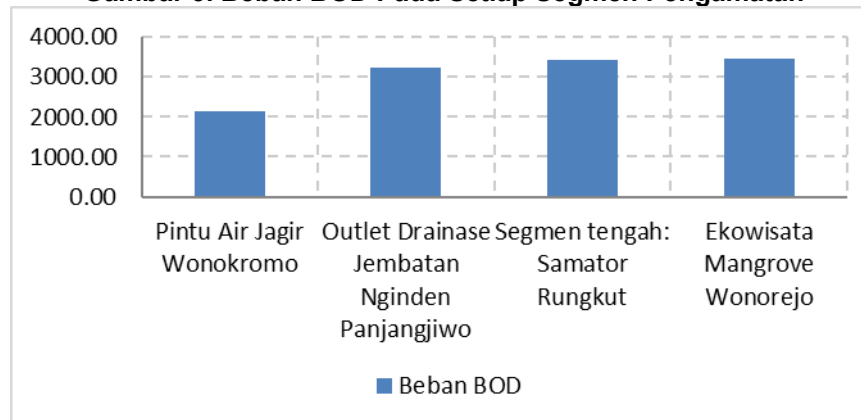
Ringkasan Beban			
Total Beban BOD (kg/hari)	12244,18	Titik BOD tertinggi	Ekowisata Mangrove Wonorejo
Total Beban COD (kg/hari)	124198,27	Titik COD tertinggi	Segmen tengah: Samator Rungkut
Total Beban TSS (kg/hari)	184612,61	Titik TSS tertinggi	Pintu Air Jagir Wonokromo

Sumber: Data Diolah, 2026

Selain itu, parameter nutrisi seperti NH₃-N dan Total P juga menunjukkan nilai yang cukup besar, yang mengindikasikan potensi eutrofikasi akibat masuknya limbah domestik dan deterjen. Beban TSS yang tinggi pada hulu kemudian cenderung menurun di titik berikutnya dapat mengindikasikan adanya proses sedimentasi alami di sepanjang aliran sungai. Secara keseluruhan, pola beban pencemar

menunjukkan bahwa sumber utama pencemaran berasal dari aktivitas domestik dan limpasan perkotaan, dengan kontribusi terbesar terjadi pada titik-titik yang memiliki outlet langsung ke badan air. Hal ini menegaskan pentingnya pengendalian sumber pencemar terutama pada saluran masuk (inlet) untuk menekan beban pencemaran di Sungai Jagir.

Gambar 3. Beban BOD Pada Setiap Segmen Pengamatan

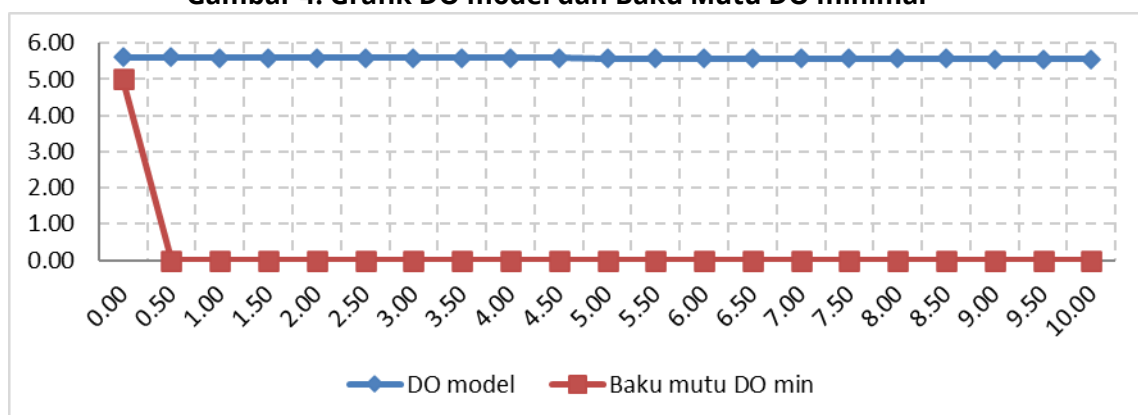


Secara analisis statis, parameter BOD di seluruh titik pengamatan masih berstatus Surplus (belum melampaui daya tampung maksimal). Namun, kapasitas ini semakin menyusut saat memasuki segmen tengah (Samator Rungkut) dengan sisa daya tampung terkecil hanya +725,76 kg/hari. Sebaliknya, daya tampung untuk COD telah terlampaui (Defisit) secara signifikan di segmen tengah (T3) sebesar -11.404,80 kg/hari dan segmen hilir (T4) sebesar -4.354,56 kg/hari. Hal ini menunjukkan adanya limpahan polutan kimia/industri atau limbah domestik non-biodegradable yang masif di segmen tengah sungai.

Daya tampung materi Fosfor telah habis total sejak dari titik kontrol hulu (T1). Lonjakan defisit tertinggi terjadi di T3 (Samator Rungkut), yang berkorelasi dengan catatan lapangan berupa "*aliran tenang, endapan terlihat*". Tingginya akumulasi fosfor ini berpotensi besar memicu fenomena eutrofisasi (ledakan alga) di daerah muara/hilir (Ekowisata Mangrove).

Aliran Sungai Jagir mengalir deras dari titik hulu di Pintu Air Wonokromo menuju kawasan hilir Ekowisata Mangrove Wonorejo sepanjang 10 kilometer dengan kecepatan arus yang masif mencapai 4,51 m/detik. Perjalanan air yang sangat singkat hanya membutuhkan waktu tempuh sekitar 37 menit membuat dekomposisi zat organik oleh bakteri belum sempat menguras habis pasokan oksigen di sepanjang badan air. Aktivitas penguraian ini membentuk sebuah lekukan landai pada kurva penurunan oksigen terlarut (*DO sag curve*), di mana kadar oksigen yang semula berada di angka 5,6 mg/L secara perlahan merosot tipis akibat beban deoksigenasi polutan hingga mencapai titik kritis terendahnya di kilometer ke-10 dengan nilai DO minimum sebesar 5,557 mg/L.

Gambar 4. Grafik DO model dan Baku Mutu DO minimal

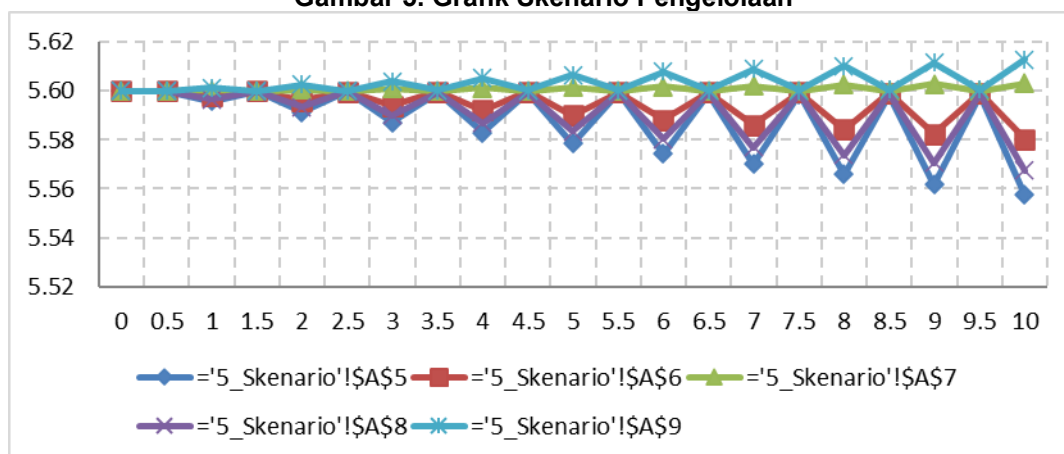


Meskipun terus didera oleh buangan limbah perkotaan, Sungai Jagir menunjukkan daya lenting yang luar biasa melalui mekanisme pemulihan diri (*self-purification*) yang masih berjalan optimal. Kemampuan reaerasi alami sungai dalam menyerap oksigen dari atmosfer terbukti bekerja empat kali lebih cepat dibandingkan laju konsumsi oksigen oleh bakteri, sehingga kondisi perairan di sepanjang

segmen studi tetap terjaga aman di atas ambang batas baku mutu minimum, yaitu 5 mg/L. Karakteristik hidrolika arus yang cepat menjadi benteng pertahanan utama sungai saat ini, dan pemodelan menunjukkan bahwa kualitas lingkungan ini akan mencapai titik kestabilan sempurna tanpa defisit oksigen sama sekali jika intervensi berupa skenario reduksi beban organik sebesar 50% berhasil diterapkan dari sektor hulu hingga hilir.

Skenario pengelolaan kualitas air Sungai Jagir yang disimulasikan melalui pemodelan menunjukkan bahwa rekayasa fisik berupa peningkatan laju reaerasi sebesar 20% melalui aerasi buatan kurang efektif jika dilakukan tanpa adanya intervensi pada sumber polutan. Pendekatan fisik tersebut hanya mampu menaikkan nilai Oksigen Terlarut (DO) minimum secara marjinal dari kondisi eksisting 5,557 mg/L menjadi 5,567 mg/L, dengan titik kritis tekanan beban pencemaran yang tetap tertahan di kilometer ke-10 kawasan hilir Mangrove Wonorejo. Hal ini mengindikasikan bahwa kapasitas asimilasi alami sungai akan terus tertekan oleh akumulasi buangan limbah perkotaan jika kebijakan manajemen lingkungan hanya berfokus pada pemulihan kondisi badan air tanpa menutup keran emisi polutan organik dari wilayah hulu dan tengah.

Gambar 5. Grafik Skenario Pengelolaan



Sebaliknya, efektivitas pengelolaan yang luar biasa ditunjukkan oleh skenario intervensi radikal berupa pemotongan beban polutan organik langsung dari sumbernya sebesar 50%. Ketika konsentrasi limbah organik dipangkas setengahnya hingga menurunkan nilai pasokan beban awal model dari 18 mg/L menjadi 9 mg/L, profil penurunan oksigen (*DO sag curve*) yang semula melandai di hilir berubah drastis menjadi garis stabil yang tegak lurus di angka hulu 5,60 mg/L di sepanjang 10 kilometer aliran sungai. Berdasarkan ringkasan *dashboard*, karena seluruh skenario saat ini masih berada di atas batas aman regulasi minimum 5 mg/L, arah kebijakan strategis pemerintah daerah direkomendasikan untuk menerapkan strategi preventif dan preservatif melalui penegakan hukum lingkungan industri serta pembuatan IPAL komunal domestik guna mewujudkan skenario pengurangan beban 50% tersebut secara bertahap demi masa depan ekosistem muara yang berkelanjutan.

Pembahasan

Berdasarkan hasil analisis kualitas air secara spasial di sepanjang 10 km aliran Sungai Jagir, ditemukan pola degradasi mutu air yang berkorelasi linier dengan heterogenitas tata guna lahan perkotaan di sekitarnya saat dikomparasikan dengan standar baku mutu Kelas II PP No. 22 Tahun 2021. Pada stasiun hulu yang dikontrol oleh Pintu Air Wonokromo, parameter utama masih berada dalam batas aman, namun memasuki segmen tengah (Stasiun 2 dan 3), fluks limbah domestik (*untreated greywater*) dan drainase komersial dari koridor Nginden hingga Kedung Baruk memicu lonjakan konsentrasi polutan organik dan nutrisi secara masif. Akibatnya, konsentrasi parameter *Chemical Oxygen Demand* (COD) serta Total Fosfor (TP) dari deterjen rumah tangga terdeteksi melampaui nilai ambang batas legal (*regulatory threshold*) dengan titik akumulasi tertinggi di zona Kedung Baruk, sehingga mengategorikan mutu air segmen tengah dalam status tercemar ringan hingga sedang. Menariknya, meskipun parameter kimiawi tersebut melonjak, parameter *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Total Suspended Solids* (TSS), dan Oksigen Terlarut (*Dissolved Oxygen/DO*) masih mampu mempertahankan nilainya di atas batas minimum baku mutu (>5 mg/L), yang menjadi anomali positif bagi ekosistem sungai urban yang umumnya rentan mengalami anoksik total.

Aplikasi model deterministik matematika Streeter-Phelps dalam kajian ini terbukti memiliki tingkat efektivitas dan keakuratan yang tinggi untuk mengevaluasi Daya Tampung Beban Pencemaran (DTBP)

serta Daya Dukung Lingkungan (DDL) secara spasial melalui integrasi koefisien deoksigenasi mikroba (K1) dan laju reaerasi atmosferik (K2). Pemodelan secara presisi menangkap bahwa karakteristik hidraulik aliran yang sangat cepat pada kondisi eksisting ($u = 4,51$ m/detik) menciptakan turbulensi konstan yang memicu laju reaerasi (K2) dari atmosfer berjalan jauh lebih agresif dibandingkan konsumsi oksigen oleh bakteri, sehingga menjelaskan mengapa titik kritis DO minimum (*critical point*) tertahan aman pada level 5,557 mg/L di segmen hilir. Kendati profil oksigen terlarut (*DO Sag Curve*) aman, hasil kuantifikasi kesetimbangan massa model memberikan akurasi kritis mengenai keterlampauan kapasitas asimilasi fisik sungai (*over-capacity*), yang ditandai dengan angka defisit DTBP Total Fosfor mencapai -628,99 kg/hari di segmen tengah serta defisit masif COD sebesar -4.354,56 kg/hari di kawasan hilir. Fakta numerik ini membuktikan bahwa daya dukung alami Sungai Jagir saat ini murni bertumpu pada faktor fisik kecepatan arus serta peran ekologis vegetasi Ekowisata Mangrove Wonorejo di hilir sebagai *bio-filter* alami penahan sedimen dan penyaring zat organik, bukan karena rendahnya asupan eksternal polutan perkotaan.

Untuk memproyeksikan dinamika kualitas air ke depan di tengah tren pertumbuhan populasi dan ekspansi kawasan komersial, pemodelan Streeter-Phelps digunakan sebagai instrumen prediktif guna menguji skenario pengelolaan lingkungan terbaik. Jika kondisi eksisting dibiarkan berjalan tanpa intervensi (*business-as-usual*), peningkatan beban emisi organik di masa depan diproyeksikan akan melumpuhkan laju reaerasi alami sehingga profil *DO Sag Curve* akan melorot tajam melewati ambang batas kritis 5 mg/L, memicu kondisi anoksik, serta merusak zonasi mangrove di estuari. Sebagai langkah mitigasi, simulasi membuktikan bahwa penerapan "Skenario Reduksi Beban BOD sebesar 50%" dari hulu hingga hilir merupakan strategi intervensi teknis yang paling efektif karena secara teoritis mampu mengeliminasi seluruh potensi defisit oksigen secara permanen dan memulihkan ruang asimilasi parameter COD serta fosfor menuju titik kestabilan ekosistem yang sempurna. Implikasi ke depan dari temuan ini menegaskan bahwa tata kelola Sungai Jagir tidak dapat lagi mengandalkan pemulihan alami (*self-purification*) hidraulik sungai semata, sehingga pemerintah daerah wajib mentransformasikan kebijakannya ke arah preventif melalui pembangunan jaringan IPAL domestik komunal terpadu di bantaran sungai, penegakan regulasi ambang batas limbah industri yang ketat, serta preservasi total terhadap hutan mangrove Surabaya Timur.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan Analisis karakteristik kualitas air Sungai Jagir menunjukkan adanya tekanan ekologis yang cukup signifikan pada parameter kimia dan nutrisi akibat aktivitas antropogenik, terutama dari limbah cair domestik perkotaan serta emisi industri dan komersial non-biodegradable di sepanjang aliran sungai. Kondisi tersebut tercermin dari tingginya akumulasi beban pencemar, dengan konsentrasi tertinggi terdeteksi pada segmen tengah kawasan Samator Rungkut hingga segmen hilir. Evaluasi daya tampung memperlihatkan bahwa Sungai Jagir telah mengalami defisit daya tampung total pada parameter Total Fosfor dengan puncak defisit sebesar -628,99 kg/hari di segmen tengah serta parameter COD sebesar -4.354,56 kg/hari di kawasan hilir. Meskipun demikian, kapasitas asimilasi alami (*self-purification*) untuk parameter oksigen terlarut (DO) masih bekerja optimal, dimana hasil simulasi model Streeter-Phelps menunjukkan kurva *DO Sag* bergerak landai dengan titik kritis DO minimum sebesar 5,557 mg/L di kawasan hilir mangrove. Kondisi ini dipengaruhi oleh karakteristik hidrolika Sungai Jagir yang memiliki kecepatan arus tinggi ($u = 4,51$ m/detik) sehingga mampu meningkatkan laju reaerasi atmosferik hingga empat kali lebih besar dibandingkan laju deoksigenasi bakteri.

Selain itu, hasil penilaian mutu air menunjukkan bahwa parameter DO, BOD, dan TSS secara umum masih memenuhi baku mutu minimum sesuai regulasi. Namun, untuk menjaga keberlanjutan fungsi ekologis sungai di masa mendatang, skenario reduksi beban BOD sebesar 50% menjadi alternatif pengelolaan preventif-preservatif terbaik karena mampu menstabilkan konsentrasi DO pada angka 5,60 mg/L melalui pengendalian emisi industri dan pembangunan IPAL komunal terpadu.

Saran

Agar Pemerintah daerah perlu memperketat pengawasan terhadap pembuangan limbah domestik dan industri ke Sungai Jagir, khususnya pada segmen tengah hingga hilir yang mengalami defisit daya tampung COD dan Total Fosfor. Pembangunan IPAL komunal terpadu di kawasan permukiman padat perlu diprioritaskan untuk menurunkan beban pencemar organik. Selain itu,

konservasi ekosistem mangrove di kawasan hilir harus terus dilakukan karena berperan penting dalam mendukung proses self-purification alami sungai. Pemantauan kualitas air secara berkala juga diperlukan guna menjaga kestabilan kualitas lingkungan perairan, disertai penerapan skenario reduksi beban BOD sebesar 50% sebagai strategi preventif untuk mempertahankan kadar DO tetap stabil dan mencegah degradasi kualitas air di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, A. F. (2025). Analisis Kualitas Air dan Sumber Pencemaran Sungai di Kota Surabaya. Jejak digital: Jurnal Ilmiah Multidisiplin, 1(4), 1456-1464.
- Azmi, H. T. (2024). Penegakan hukum lingkungan terhadap pencemaran limbah industri: Tinjauan terhadap perlindungan masyarakat kelas bawah. LITRA: Jurnal Hukum Lingkungan Tata Ruang dan Agraria, 4(1).
- Desman, S., & Edial, H. (2022). Antisipasi Potensi Penurunan Debit Air Melalui Analisis Daya Dukung Lahan Dan Daya Tampung Air Kota Payakumbuh. Technologica, 1(2), 94-103.
- Febrita, J., & Roosmini, D. (2022). Analisis beban pencemar logam berat industri terhadap kualitas Sungai Citarum Hulu. Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan, 7(1), 77-88.
- Hasibuan, M., Cahyono, K., & Hasibuan, S. (2022). Kajian Beban Pencemar dan Daya Tampung Beban Pencemar Air di Daerah Aliran Sungai Siak. Rekayasa Hijau: Jurnal Teknologi Ramah Lingkungan, 6(1), 45-56.
- Herliana, E., Febrion, C., & Wulan, M. R. (2020). Studi kinerja IPAL domestik komunal Wallagri Bandung: Evaluasi parameter fisik-kimia dan perspektif pengelola lapangan. Jurnal Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan), 6(2).
- Indriyani, A. R., Sudarti, S., & Yushardi, Y. (2024). Analisis limbah pencemaran air sungai di kota dan desa. OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika, 8(1), 29-35.
- Kartikasari, A. N., Mirwan, M., & Sutini. (2024). Analysis of Pollutant Load and Assimilation Capacity of Klintar River in Nganjuk. Media Ilmiah Teknik Lingkungan (MITL), 9(2), 54-62.
- Kurnianingtyas, E., Prasetya, A., & Yuliansyah, A. T. (2020). Kajian kinerja sistem instalasi pengolahan air limbah (IPAL) komunal. Media Ilmiah Teknik Lingkungan (MITL), 5(1), 62-70.
- Latekeng, N., Tansa, S., Yunginger, R., & Nasibu, I. Z. (2024). Monitoring kualitas air sungai (kekeruhan, suhu, TDS, pH) menggunakan mikrokontroler Atmega 328. Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering, 6(1), 70-75.
- Lestari, D. S., Sukamta, & Sari, Y. C. (2023). Status Kualitas Air DAS Sanggai di Kabupaten Penajam Paser Utara dan Perumusan Strategi Pencegahan serta Pengendalian Pencemaran Air. Jurnal Ilmu Lingkungan, 21(4), 914-932.
- Ma'arij, Z., Putri, D. A. J., & Pratiwi, S. (2025). Mengurangi Limbah Bersama: Inisiatif Pengelolaan Sampah Kota Surabaya dan Kabupaten Sidoarjo. Nusantara: Jurnal Pendidikan dan Ilmu Sosial, 2(1).
- Pramaningsih, V., Yuliawati, R., Sukisman, S., Hansen, H., Suhelmi, R., & Daramusseng, A. (2023). Indek Kualitas Air dan Dampak terhadap Kesehatan Masyarakat Sekitar Sungai Karang Mumus, Samarinda. Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia, 22(3), 313-319.
- Pratama, D., Yanda, R., & Fajar, M. (2022). Analisa Status Mutu Air Dan Daya Tampung Beban Pencemaran Di Sungai Way Jelai Provinsi Lampung. Jurnal Teknik Pengairan: Journal of Water Resources Engineering, 13(2), 128-140.
- Purba, A., Sabri, L. M., & Nugraha, A. L. (2022). Analisis Daya Dukung Dan Daya Tampung Air Menggunakan Pendekatan Berbasis Sig (Studi Kasus: Kabupaten Batang). Elipsoida: Jurnal Geodesi Dan Geomatika, 5(2), 69-78.
- Suhudi, S., Sulistiyani, K. F., & Mosa, R. R. D. (2023). Analisis Karakteristik Hidrologi Terhadap Potensi Sumber Daya Air Berdasarkan Analisa BMKG RCP 4.5 di DAS Sejahtera, Sulawesi Tengah. BUANA SAINS, 23(1), 45-52.
- Sukristiyono, S., Purwanto, R. H., Suryatmojo, H., & Sumardi, S. (2021). Analisis Kuantitas dan Kualitas Air dalam Pengembangan Pemanfaatan Sumber Daya Air Sungai di Kawasan Hutan Lindung Sungai Wain. Jurnal Wilayah dan Lingkungan, 9(3), 239-255.
- Telaumbanua, M. (2025). Pengaruh oksigen terlarut (DO) dalam budidaya perairan. Jurnal Perikanan dan Kelautan, 2(1), 200-206.
- Wahyuningsih, S., Dharmawan, A., & Novita, E. (2020). Purifikasi alami sungai bedadung hilir menggunakan pemodelan streeter-phelps. Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia, 19(2), 95-102.

- Wahyuningsih, S., Novita, E., & Idayana, D. A. (2020). Penilaian daya dukung sungai antirogo di kabupaten jember terhadap beban pencemaran menggunakan metode Streeter-Phelps. *Agritech: Jurnal Fakultas Teknologi Pertanian UGM*, 40(3), 199-205.
- Wiandari, N. P., Maroeto, M., & Mindari, W. (2024). Kajian Kualitas Air pada Berbagai Penggunaan Lahan di Sub DAS Jagir Kota Surabaya. *Agroteknika*, 7(3), 314-332.
- Wibowo, A. S., Mauludin, A. N. R., Darmawan, D., Arifin, S., & Putra, A. R. (2026). Partisipasi Mahasiswa dan Masyarakat dalam Edukasi Kebersihan untuk Menjaga Kualitas Ekosistem Sungai di Surabaya. *Nuras : Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 6(1), 256-268