

KONTRIBUSI LIMBAH INDUSTRI PENYAMAKAN KULIT TERHADAP KUALITAS AIR SUNGAI BRANTAS DI WILAYAH KOTA DAN KABUPATEN MALANG (SEGMENT MERGOSONO-KENDALPAYAK)

Rachmadita Ersa Eka Putri¹, Sugeng Utaya², Didik Taryana³, Bagus Setiabudi Wiwoho⁴

^{1,2,3,4} Universitas Negeri Malang, Indonesia

Email: rachmadita.ersa.1807226@students.um.ac.id



DOI : <https://doi.org/10.46245/jp>

Sections Info

Article history:

Submitted: 23 Mai 2026

Final Revised: 11 Juni 2026

Accepted: 16 July 2026

Published: 31 July 2026

Keywords:

Brantas River

Leather Tanning

Water Quality

Chromium



ABSTRAK

The Brantas River is one of the main water resources in East Java that is under pollution pressure due to industrial and domestic activities, one of which originates from the leather tanning industry. This study aims to analyze the contribution of tannery industrial wastewater to the water quality of the Brantas River based on Chromium (Cr) and Biochemical Oxygen Demand (BOD) parameters, as well as to observe the extent of natural self purification processes along the river segment from Mergosono Subdistrict in Malang City to Kendalpayak Village in Malang Regency. The method used is a descriptive quantitative approach, with water sampling at 10 points along ± 5 km at 500-meter intervals. Cr and BOD parameters were tested in the laboratory, while temperature, pH, DO, EC, and flow velocity were measured directly in the field. The results were compared to water quality standards based on Regulation of the Minister of Environment and Forestry No. 68 of 2016 and Government Regulation No. 22 of 2021. The results show that BOD concentrations exceeded the quality standards at all points downstream of the discharge, with the highest value reaching 74.21 mg/L. Cr was detected below the quality standard, but this is suspected to not reflect the actual concentration due to the sampling being conducted only in the surface water column and with a time delay of approximately 8 hours from the time of discharge. The downstream decrease in Cr and BOD concentrations indicates the presence of natural self-purification, although it has not been sufficient to restore water quality to a safe level. This study indicates that tannery wastewater significantly contributes to the degradation of Brantas River water quality, and that natural purification alone is insufficient to handle the pollutant load without effective wastewater management interventions.

ABSTRAK

Sungai Brantas merupakan salah satu sumber daya air utama di Jawa Timur yang mengalami tekanan pencemaran akibat aktivitas industri dan domestik, salah satunya berasal dari industri penyamakan kulit. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kontribusi limbah cair industri penyamakan kulit terhadap kualitas air Sungai Brantas berdasarkan parameter Kromium (Cr) dan Biochemical Oxygen Demand (BOD), serta mengamati sejauh mana proses self purification alami terjadi pada segmen sungai dari Kelurahan Mergosono Kota Malang hingga Desa Kendalpayak Kabupaten Malang. Metode yang digunakan adalah pendekatan deskriptif kuantitatif dengan pengambilan sampel air di 10 titik sepanjang ± 5 km dengan interval 500 meter. Parameter Cr dan BOD diuji di laboratorium, sedangkan suhu, pH, DO, EC, dan kecepatan arus diukur langsung di lapangan. Hasil pengukuran dibandingkan dengan baku mutu air berdasarkan Permen LHK No. 68 Tahun 2016 dan PP No. 22 Tahun 2021. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi BOD melebihi baku mutu di seluruh titik setelah buangan limbah, dengan nilai tertinggi mencapai 74,21 mg/L. Parameter Cr terdeteksi di bawah baku mutu, namun hal ini diduga tidak mencerminkan konsentrasi sebenarnya karena pengambilan sampel hanya dilakukan pada kolom air permukaan dan terdapat jeda

waktu ± 8 jam dari waktu pembuangan limbah. Pola penurunan konsentrasi Cr dan BOD ke arah hilir menunjukkan adanya proses purifikasi alami, meskipun belum mampu mengembalikan kondisi air ke tingkat yang aman. Penelitian ini menunjukkan bahwa pencemaran limbah penyamakan kulit berkontribusi besar terhadap penurunan kualitas air Sungai Brantas dan bahwa proses purifikasi alami tidak cukup untuk menanggulangi beban pencemar yang masuk tanpa adanya intervensi pengelolaan limbah yang efektif.

Kata kunci: Sungai Brantas, penyamakan kulit, kualitas air, Kromium,

PENDAHULUAN

Sungai Brantas adalah sungai terpanjang kedua di pulau Jawa setelah Sungai Bengawan Solo. Sungai Brantas memiliki sungai utama sepanjang 320 km dan Sungai Brantas mempunyai DAS seluas $\pm 12.000 \text{ km}^2$ atau seperempat dari luas provinsi Jawa Timur. ([Whitten et al., 1996](#)). Mengacu pada Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 61 Tahun 2010 Tentang Penetapan Kelas Air Pada Air Sungai, dimana klasifikasi mutu air ditetapkan menjadi 4 kelas dan Sungai Brantas pada peraturan yang disebutkan diatas yang berada di Kota Malang ditetapkan pada klasifikasi mutu air berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 yaitu termasuk dalam air kelas II sebagai air yang digunakan untuk prasarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanian, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Sungai Brantas kini menjadi salah satu sungai di Indonesia yang mengalami tingkat pencemaran cukup serius. Pencemaran air merupakan dampak dari beban pencemar yang berlebihan serta tidak mampu dinetralisir oleh badan air. ([Suprabawati, 2023](#)). Saat ini sebagian besar air permukaan sudah mengalami pencemaran sehingga akan berdampak terhadap menurunnya kualitas air. Kualitas air merupakan suatu ukuran dari kondisi air yang dapat diidentifikasi melalui parameter fisik, kimiawi, dan biologisnya. Kualitas air juga berguna untuk melihat ukuran kondisi air relative terhadap kebutuhan biota air serta juga manusia. Kualitas air juga digunakan sebagai ukuran standar terhadap kondisi kesehatan ekosistem air dan kesehatan manusia terhadap baku mutu air sesuai peruntukannya ([Dr. Jonni Mardizal et al., 2021](#)). Penurunan kualitas air ini akan berdampak pada menurunnya daya guna, hasil guna, produktivitas, daya dukung dan daya tampung dari sumber daya air yang akan berdampak pada menurunnya kekayaan sumber daya alam. ([Asrini et al., 2017](#)).

Banyaknya industri yang tumbuh pada daerah aliran sungai juga seringkali menghasilkan limbah dalam jumlah besar dalam bentuk limbah cair serta padat yang seringkali dibuang langsung ke badan sungai tanpa melalui proses pengelolaan yang memadai ([Rachmawati et al., 2020](#)). Pesatnya pertumbuhan industri disepanjang aliran Sungai Brantas terutama pada wilayah sepanjang Kota Malang mengakibatkan meningkatnya resiko penurunan kualitas air sungai ([Tama, 2014](#)). Pada tahun 2021 jumlah industri di Kota Malang sebesar 5.920 unit dan pada tahun 2023 Industri di Kota Malang mengalami peningkatan menjadi 9.182 unit. Berdasarkan jumlah industri besar dan sedang pada Klasifikasi Baku Lapangan Usaha Indo (KBLI) Malang tahun 2024 menyebutkan bahwa Kota Malang memiliki 190 industri yang terbagi pada Kecamatan Kedungkandang sebanyak 36 unit, Kecamatan Sukun 55 unit, Kecamatan Klojen 17 unit Kecamatan Blimbing 63 dan Kecamatan Lowokwaru 19 unit. Termasuk di dalamnya adalah industri penyamakan kulit yang berada di Kelurahan Ciptomulyo Kecamatan Sukun.

Industri penyamakan kulit dikenal menghasilkan berbagai macam limbah dari limbah cair, gas dan padatan yang mengandung bahan organik yang tinggi terutama protein, juga bahan anorganik yaitu logam berat ([Sigalingging, 2015](#)). Industri penyamakan kulit menghasilkan limbah cair yang cukup besar dikarenakan pada saat dilakukan proses penyamakan pada 1 ton kulit mentah maka dapat menghasilkan sekitar 30.000-35.000 liter ($30\text{-}35\text{m}^3$) limbah cair ([Bhargavi et al., 2015](#)). Air limbah ini mengandung banyak zat berbahaya, seperti kebutuhan *biological oxygen demand* (BOD), *total dissolved solids* (TDS), *chemical oxygen demand* (COD), *Total Suspended Solids* (TSS), sulfida, klorida, kromium dan berbagai bahan kimia lainnya yang juga menyumbang 60–70% dari total pencemaran yang dihasilkan oleh industri penyamakan kulit ([Wu et al., 2018](#)). Hasil limbah industri penyamakan kulit, diketahui mengandung logam berat yaitu kromium.

Kromium pada proses penyamakan kulit terjadi dalam proses *tanning* dimana ini adalah proses utama dalam proses penyamakan, menggunakan bahan penyamak yaitu krom sulfat yang digunakan sebagai zat utama sehingga didapatkan kolagen pada kulit namun krom hanya bisa terserap sebanyak 60-70% dan sisanya yaitu 30-40% akan terbawa dalam limbah hasil industri penyamakan. Dalam prosesnya juga menghasilkan limbah organik yang tinggi diantaranya proses pra-penyamakan (*soaking, liming, deliming, batting, pickling*) dan proses penyamakan (*tanning*) akan dapat meningkatkan nilai limbah organik salah satunya BOD. Kandungan ini dengan konsentrasi yang cukup tinggi pada limbah cair industri akan menyebabkan pencemaran terhadap lingkungan ([Juliyasri et al., 2019](#)).

Karakteristik pencemaran kromium di perairan berbeda dengan bahan pencemar organik biasa. Sebagai logam berat, kromium memiliki kecenderungan untuk tidak sepenuhnya larut dalam air, melainkan mengalami sedimentasi dan terakumulasi di dasar badan air, terutama pada aliran sungai yang lebih lambat ([Wu et al., 2018](#)). Hal ini mengindikasikan bahwa konsentrasi kromium di badan air tidak hanya terdapat pada permukaan air, tetapi juga dalam sedimen sungai.

Parameter BOD digunakan dalam penelitian ini dikarenakan analisis fisik dan kimia air pada suatu perairan kurang memberikan gambaran dari kualitas perairan dan memberikan penyimpangan-penyimpangan yang menyebabkan kondisi yang terukur tidak menggambarkan kondisi yang sebenarnya, karena kisaran nilai perubahannya sangat dipengaruhi oleh keadaan sesaat. Penggunaan parameter biologi sebagai bioindikator dalam suatu perairan sangat diperlukan, karena organisme dalam suatu ekosistem yang hidup disungai dipengaruhi oleh lingkungan sungai dalam periode yang relatif panjang. (Menurut petunjuk teknis restorasi air sungai oleh KLHK tahun 2017) Tingkat pencemaran suatu perairan ditentukan oleh parameter fisika dan kimia, namun parameter biologi diperlukan untuk mengidentifikasi kondisi ekologi atau ekosistem pada lingkungan perairan ([Wu et al., 2018](#)).

Dalam penelitian ini, pengambilan sampel air dilakukan pada lapisan permukaan sungai untuk menganalisis parameter kualitas air, khususnya Cr dan BOD. Fokus pada air permukaan bertujuan untuk memperoleh gambaran awal tentang kondisi pencemaran Sungai Brantas akibat buangan limbah industri penyamakan kulit. Namun, mengingat karakteristik kromium yang cenderung mengendap, keterbatasan ini perlu dicatat sebagai salah satu batasan penelitian untuk mempertimbangkan analisis lebih lanjut terhadap sedimen sungai pada penelitian mendatang.

Dimana berdasarkan analisis di lapangan parit ini mengalir sepanjang Kelurahan Ciptomulyo kemudian melintasi Kelurahan Mergosono sebelum bermuara langsung ke badan Sungai Brantas yang berada di wilayah Kelurahan Mergosono. Dalam proses pembuangan limbah ke dalam parit, tidak melalui proses yang memadai sehingga bahan berbahaya tersebut mencemari lingkungan sekitar. Limbah ini dibuang dan mengalir melalui parit yang dikenal dengan sebutan Kali Badek ([Prasetya et al., 2015](#)). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh ([Kurniawan et al.2019](#)) tentang pengujian keberadaan Cr(VI) di air Kali (Sungai) Badek menunjukkan bahwa terdapat aktivitas yang membuang limbah mengandung Cr(VI) dan melebihi ambang batas aman untuk kesehatan manusia (0,78 – 2,06 ppm). Namun, penelitian ini tidak mengkaji lebih lanjut dampak pencemaran pada Sungai Brantas sebagai badan air utama. Kromium sebagai logam berat hasil proses penyamakan kulit terbukti dapat mencemari lingkungan perairan terutama sungai. Hal ini dibuktikan oleh ([Ardian.2022](#)) dalam penelitiannya di Sungai Opak bagian hilir, Kabupaten Bantul yang menunjukkan bahwa masukan limbah dari industri penyamakan kulit Kawasan Industri Piyungan yang bermuara ke Sungai Opak menyebabkan pencemaran logam berat kromium

(Cr) yang cukup signifikan. Kandungan Cr tidak hanya terdeteksi dalam air sungai, namun juga terakumulasi dalam sedimen dan jaringan moluska. Tingkat pencemaran tertinggi ditemukan di Stasiun Piyungan sebesar 1,186 mg/L, namun logam berat tersebut masih terdeteksi hingga Stasiun Pundong, sekitar 15–20 km dari titik buangan, menunjukkan distribusi spasial yang luas. Hal ini juga didukung dengan penelitian yang dilakukan oleh ([Jati et al.2022](#)) membuktikan bahwa limbah industri penyamakan kulit di Sitimulyo, Piyungan, Bantul berkontribusi langsung terhadap pencemaran logam berat kromium (Cr) di Sungai Opak. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa kadar Cr dalam air pada titik buangan utama mencapai 0,55 mg/L, jauh melampaui ambang baku mutu cemaran logam berat dalam air sebesar 0,05 mg/L sebagaimana ditetapkan dalam Peraturan BPOM No. 9 Tahun 2022. Meskipun kadar Cr menurun di titik-titik hilir karena pengenceran alami, kontaminasi logam berat tetap terdeteksi hingga beberapa kilometer dari sumber pencemar. Ini memperkuat argumen bahwa limbah penyamakan kulit memberikan dampak pencemaran yang luas secara spasial dan serius secara ekologis.

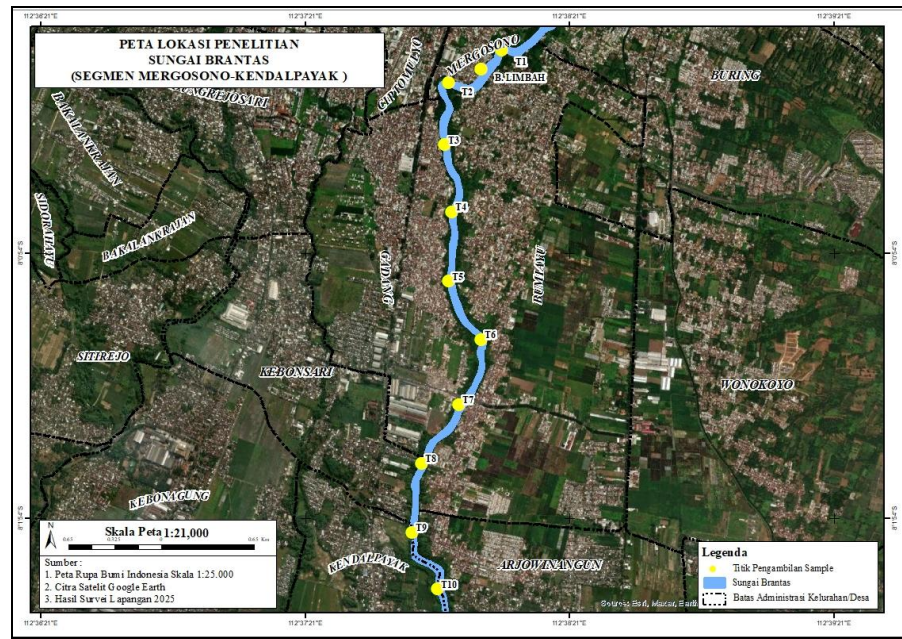
Berdasarkan temuan diatas diperlukan penelitian lanjutan untuk mengetahui sejauh mana pencemaran air berdampak terhadap kualitas air di Sungai Brantas yang menjadi titik akhir buangan limbah. Maka penelitian ini akan dilakukan dan dibatasi sepanjang 5 km dari titik sebelum buangan limbah hingga 5 km setelahnya. Jarak ini dipilih dikarenakan bahan pencemar tidak akan menghilang sesaat masuk ke badan sungai, namun masih akan terbawa aliran sungai pada jarak tertentu juga ([Tirza et al., 2017](#)) PP No. 22 tahun 2021 menyatakan bahwa pemantauan harus dilakukan kearah hilir dari titik pembuangan limbah. Pencemaran akibat limbah industri penyamakan kulit yang masuk ke badan Sungai Brantas melalui parit merupakan masalah lingkungan yang mendesak dan memerlukan perhatian yang serius yang dapat mempengaruhi penurunan kualitas air di wilayah Sungai Brantas. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi tingkat pencemaran badan air di aliran Sungai Brantas sebagai penerima buangan limbah industri penyamakan kulit berdasarkan standar baku mutu yang ditetapkan pemerintah dan untuk mengetahui tren perubahan tingkat pencemaran di sepanjang Sungai Brantas dari hulu (Kel. Mergosono) ke hilir (Kel. Kendalpayak). Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran nyata mengenai kondisi pencemaran serta menjadi dasar bagi rekomendasi pengelolaan lingkungan yang lebih baik, baik bagi pemerintah daerah maupun masyarakat setempat.

METODE PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini berada di aliran Sungai Brantas pada segmen Kelurahan Mergosono Kota Malang, melalui Kelurahan Gadang, Kelurahan Kebonsari dan berakhir pada Desa Kendalpayak Kabupaten Malang. Alasan pemilihan lokasi penelitian dikarenakan terdapat aktivitas industri penyamakan kulit di Kawasan Kelurahan Ciptomulyo yang pembuangan limbah cairnya secara langsung mengalir melalui parit yang bermuara pada badan Sungai Brantas yang berada pada Kelurahan Mergosono, sehingga lokasi ini dianggap representative untuk mengkaji kontribusi limbah terhadap kualitas air sungai. Berikut merupakan peta lokasi penelitian.

Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian



Sumber : Hasil Pengolahan Peneliti 2025

2.2 Alat dan Bahan

Tabel 1. Alat

Alat	Fungsi / Kegunaan
GPS (Global Positioning System)	Menentukan koordinat titik pengambilan sampel
pH Meter	Mengukur tingkat keasaman air secara langsung di lapangan
DO Meter (Dissolved Oxygen Meter)	Mengukur kadar oksigen terlarut dalam air
EC Meter (Electrical Conductivity Meter)	Mengukur daya hantar listrik air
Pelampung dan Stopwatch	Mengukur kecepatan aliran sungai
Botol Sampel	Media penyimpanan sampel air sungai
Lakban, Stiker dan Spidol	Mencatat nomor pada label sampel air sungai
ArcGIS 10.8	Mengolah dan memvisualisasikan data spasial
Google Earth dan Google Maps	Penentuan titik lokasi pengambilan sampel

Sumber : Hasil Pengolahan Peneliti 2025

Tabel 2. Bahan

Bahan	Fungsi / Kegunaan
Sampel Air Sungai	Objek utama pengujian kualitas air
Peta Rupa Bumi Indonesia (1 : 25.000)	Peta dasar referensi spasial
Data Baku Mutu Kualitas Air	Pembanding hasil uji laboratorium dengan standar kualitas air

Sumber : Hasil Pengolahan Peneliti 2025

2.3 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data pada penelitian ini melalui observasi, dokumentasi, dan uji sampel. Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data sekunder diperoleh melalui studi pustaka dan data dari instansi terkait. Data yang digunakan antara lain: Peta Dasar (Peta Rupa Bumi Indonesia Skala 1:25.000), yang dapat diolah untuk Peta Aliran Sungai Brantas, Peta Penggunaan Lahan dan juga Baku Mutu Air Limbah Industri Penyamakan Kulit sesuai Permen LHK 2018 dan PP No. 82 Tahun 2001 (Mutu Air Kelas II). Data sekunder ini dianalisis menggunakan Sistem Informasi Geografi (SIG) untuk memetakan distribusi pencemar dalam sungai ([Sigalingging, 2015](#)).

Data primer didapatkan dari observasi pengukuran langsung di lapangan, pengambilan sampel air, serta analisis laboratorium. Observasi di lapangan untuk mengetahui kondisi fisik perairan sungai dan pencatatan hasil visual. Pada penelitian ini dibatasi hanya menggunakan 2 parameter utama untuk analisis laboratorium yaitu Cr dan BOD. Pemilihan kedua parameter utama ini dipilih berdasarkan pada karakteristik hasil limbah industri penyamakan kulit.

Kemudian parameter pendukung yang digunakan untuk menunjang analisis dan mengetahui kondisi air permukaan dalam penelitian ini adalah pH, suhu, DO, EC, bau, dan warna. pH untuk mengetahui tingkat keasaman atau kebasaan air. Suhu, dikarenakan bisa mempengaruhi laju reaksi kimia dan kelarutan oksigen dalam air. DO (*Dissolved Oxygen*) untuk mengetahui kadar oksigen terlarut. EC (*Electrical Conductivity*) sebagai indikator konsentrasi ion atau zat terlarut dalam air. Juga bau dan warna yang diamati secara visual dan penciuman langsung untuk mendapatkan gambaran komprehensif mengenai kualitas air. Pengukuran kecepatan arus sungai menggunakan metode pelampung dengan perhitungan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$v = \frac{s}{t}$$

Dimana :

V = Kecepatan Arus (m/s)

S = Jarak Lintasan Pelampung (m)

T = Waktu Tempuh (detik)

Pengambilan sampel dilakukan pada 10 titik yang mengalir sepanjang 5 km, melewati 4 kelurahan yaitu Kelurahan Mergosono, Kelurahan Gadang, Kelurahan Kebonsari Kota Malang dan berakhir pada Desa Kendalpayak Kab. Malang dengan interval 500 meter per titik yang bertujuan untuk mengetahui sebaran pencemaran dari titik sebelum buangan sampai beberapa kilometer setelah buangan dengan tujuan bisa mendapatkan gambaran tren perubahan kualitas air dari hulu ke hilir kemudian interval 500 meter dipilih karena cukup representative digunakan untuk menangkap perubahan besaran konsentrasi dari parameter pencemar secara bertahap dan tetap efisien saat pengambilan sampel dari waktu dan tenaga serta juga mempertimbangkan efisiensi biaya dan sumber daya penelitian ([Ekarini, 2021](#)).

Google Earth digunakan untuk menentukan 10 titik pengambilan sampel dengan proses digitasi pada citra Google Earth mengikuti alur Sungai Brantas, kemudian titik-titik tersebut dibagi dengan interval 500 meter dengan penentuan titik 1 berada pada ± 250 meter sebelum titik buangan limbah sebagai acuan kondisi awal sungai, sedangkan titik 2 berada ± 250 meter setelah titik buangan limbah sedangkan titik 3 hingga 10 ditentukan dengan interval 500 meter dari titik sebelumnya untuk mengamati perubahan kualitas air setelah

pencemaran limbah. Penentuan titik ini dilakukan guna untuk mengetahui titik koordinat yang tepat dan akan digunakan sebagai acuan utama saat observasi dan pengambilan sampel di lapangan. Kemudian koordinat dari masing-masing titik diimpor ke Google Maps dan akan digunakan sebagai panduan menuju lokasi titik pengambilan sampel secara langsung. Berikut merupakan titik koordinat dari 10 titik lokasi pengambilan sampel

Tabel 3. Titik Koordinat Lokasi Penelitian

Titik	Koordinat
1	8°00'07"S 112°38'05"E
Buangan Limbah	8°00'12"S 112°38'01"E
2	8°00'15"S 112°37'53"E
3	8°00'29"S 112°37'52"E
4	8°00'44"S 112°37'54"E
5	8°01'00"S 112°37'53"E
6	8°01'13"S 112°38'00"E
7	8°01'28"S 112°37'56"E
8	8°01'41"S 112°37'47"E
9	8°01'57"S 112°37'45"E
10	8°02'10"S 112°37'51"E

Sumber : Hasil Pengolahan Peneliti 2025

Pengambilan sampel dilakukan pada pukul 08.00 WIB dengan pengambilan air pada badan air sedalam ± 50 cm dari permukaan air. Pengambilan dilakukan dengan volume pengambilan 1,5 L menggunakan botol yang telah ditutup dengan lakban hitam dan diberi label tahan air dengan spidol dan kondisi botol sudah dibilas air sungai yang akan diambil sampelnya. Kemudian melakukan pengiriman untuk dilakukan uji laboratorium.

2.4 Teknik Analisis dan Pengelolaan Data

Data hasil survey lapangan dan uji laboratorium pada penelitian ini dianalisis secara deskriptif kuantitatif. Parameter uji laboratorium dibatasi pada Cr dan BOD dan parameter lainnya seperti Suhu, pH, DO yang kemudian hasil pengukuran akan dibandingkan menggunakan parameter yang mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia yang berisi ketentuan mengenai baku mutu air limbah industri penyamakan kulit dimana batas maksimum telah ditentukan. Kondisi EC (*Electrical Conductivity*) yang terukur dalam penelitian ini diklasifikasikan berdasarkan Klasifikasi *Electrical Conductivity* oleh Wilcox 1955 dan parameter seperti Bau, Warna dan Kecepatan Arus juga digunakan untuk analisis lanjutan.

Berikut merupakan Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha Dan/ Atau Kegiatan Industri Penyamakan Kulit Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 21 Tahun 2018 dan sebagai perbandingan tambahan, data hasil uji juga dianalisis berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, khususnya pada kriteria Mutu Air Kelas II, yaitu standar mutu air yang diperuntukkan bagi kegiatan rekreasi air, budidaya ikan air tawar, peternakan, dan untuk keperluan air minum setelah pengolahan. Sesuai dengan Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 61 Tahun 2010 tentang Penetapan Kelas Air pada Sungai, Sungai Brantas yang berada di wilayah Kota Malang hingga sebagian wilayah Desa Kendalpayak, Kabupaten Malang dikategorikan ke dalam kelas air golongan II. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kondisi kualitas air Sungai Brantas secara menyeluruh dari sudut pandang pemanfaatan badan air,

tidak hanya dari aspek pencemaran limbah industri. ([Ekarini,2021](#)).

Tabel 4. Baku Mutu Kualitas Air

Parameter	Satuan	Kadar Max	Keterangan
Temperatur	°C	Deviasi 3	
potential Hydrogen (pH)	-	6-9	
Biological Oxygen Demand (BOD)	mg/L	3	
DO	mg/L	4	Angka Batas Minimum
Krom (Cr) Total*	mg/L	0,6	

Sumber : Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001; *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2018

Tabel 5. Klasifikasi EC (*Electrical Conductivity*)

Electrical Conductivity (μ/cm)	Kualitas Air
< 250	Sangat Baik
250-750	Baik
750-2000	Sedang
2000-3000	Buruk
≥ 3000	Sangat Buruk

Sumber : *Practical And Applied Hydrogeology 2015* (Sen, 2015)

Kemudian dilakukan analisis tren spasial untuk mengetahui dan memperkirakan perubahan kualitas air secara spasial terutama pada nilai Cr dan BOD sepanjang Sungai Brantas segmen penelitian yang dilakukan dengan menggunakan metode interpolasi Inverse Distance Weighting (IDW). Metode IDW adalah metode interpolasi deterministic yang memberikan bobot lebih besar pada titik sampel yang jaraknya lebih dekat dengan lokasi yang diestimasi sehingga nilai pada sel raster merupakan hasil rata-rata tertimbang dari titik-titik terdekat di sekitarnya ([Burrough & Mcdonnell, 1998](#)). IDW dipilih berdasarkan pada karakteristik data penelitian yang memiliki jumlah titik sampel terbatas dan tersebar secara linear memanjang mengikuti aliran sungai dan kebutuhan untuk menampilkan perubahan konsentrasi bertahap pada segmen penelitian dikarenakan metode ini mampu menghasilkan estimasi nilai pada lokasi yang tidak terukur berdasarkan kedekatan jarak terhadap titik pengamatan dengan asumsi bahwa besarnya nilai dipengaruhi lebih besar oleh titik-titik di sekitarnya yang berjarak lebih dekat dibandingkan dengan titik yang lebih jauh ([Ekarini, 2021](#)).

Data input yang digunakan berupa titik pengambilan sampel kualitas air dengan hasil nilai parameter utama yaitu Cr dan BOD. Proses interpolasi menghasilkan peta yang menggambarkan pola sebaran spasial masing-masing parameter sepanjang Sungai Brantas Segmen Mergosono-Kendalpayak. Kemudian, hasil interpolasi dipotong (*clip*) menggunakan batas alur sungai brantas segmen penelitian sehingga peta hanya merepresentasikan wilayah penelitian. Untuk memudahkan interpretasi visual, hasil interpolasi ini diklasifikasikan ke dalam beberapa kelas konsentrasi berdasarkan rentang nilai masing-masing parameter. Klasifikasi ini digunakan sebagai dasar analisis pola sebaran spasial.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

3.1 Tingkat pencemaran aliran Sungai Brantas berdasarkan standar baku mutu

Pengukuran kualitas air pada badan Sungai Brantas Segmen Mergosono-Kendalpayak dengan parameter utama yaitu Kromium (Cr), *Biological Oxygen Demand* (BOD), dan parameter pendukung lainnya meliputi pH, DO, Suhu, *Electrical Conductivity* (EC), dan Kec. Arus. Parameter Kromium (Cr) pada penelitian ini menjadi indikator utama limbah penyamakan kulit karena merupakan logam berat yang digunakan dalam penyamakan kulit dan hanya 60-70% dalam proses penyamakan yang terserap berupa senyawa krom sulfat (CrSO_4) sisanya sisanya yaitu 30-40% akan terbawa dalam limbah hasil industri penyamakan akan ikut dalam limbah. Dalam penelitian ini didapatkan hasil sebagaimana disajikan dalam tabel 6 di bawah ini.

Tabel 6. Hasil Pengukuran Cr dibandingkan dengan nilai Baku Mutu Kualitas Air

LOKASI	Cr (mg/L)	Baku Mutu (mg/L)
Sebelum Buangan (titik 1)	0.0020	0,6
Buangan Limbah	0.0039	0,6
Titik 2	0.0063	0,6
Titik 3	0.0046	0,6
Titik 4	0.0049	0,6
Titik 5	0.0063	0,6
Titik 6	0.0073	0,6
Titik 7	0.0076	0,6
Titik 8	0.0041	0,6
Titik 9	0.0040	0,6
Titik 10	0.0033	0,6

Sumber : Pengolahan Peneliti 2025

Nilai Konsentrasi Kromium (Cr) pada semua titik pengambilan sampel berada pada rentang 0.0020 mg/L sampai 0.0076 mg/L. Nilai ini berada jauh di bawah batas baku mutu yang ditetapkan oleh pemerintah mengacu pada Permen LHK No. 21 Tahun 2018 mengenai Baku Mutu Air Limbah Industri Penyamakan Kulit yaitu sebesar 0,6 mg/L dimana hal ini menyatakan bahwa seluruh sampel masih memenuhi syarat baku mutu kualitas air pada parameter logam berat kromium. Namun, perlu digarisbawahi bahwa pengambilan sampel memiliki jeda waktu setelah pembuangan limbah, dikarenakan pembuangan dilakukan pada malam hari sekitar pukul 01.00 WIB dan pengambilan sampel dilakukan pada pukul 08.00 WIB. Hal ini berpotensi mempengaruhi besarnya konsentrasi kromium sehingga hasil tidak mewakili kondisi puncak pencemaran dikarenakan limbah yang masuk ke badan air telah mengalami proses pengenceran alami (dilusi) oleh aliran sungai selama jeda waktu tersebut ([Fitriana et al., 2023](#)). Selain itu juga, cara pengambilan sampel dilakukan ke dalam badan air ± 50 cm dari permukaan sehingga menyebabkan pengambilan sampel hanya terbatas pada air permukaan yang memperbesar kemungkinan bahwa sampel yang diambil hanya mewakili nilai kromium terlarut dan tersuspensi bukan nilai puncak pencemaran. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh ([Ma'dika et al., 2021](#)), bahwa logam berat kromium (Cr) cenderung ditemukan dengan nilai yang lebih tinggi di sedimen dibandingkan di air. Hasil pada pengukuran konsentrasi Cr pada sedimen mencapai 1,015 sedangkan hasil pengukuran konsentrasi di air berkisar 0,053 ini terjadi dikarenakan logam berat ini

mempunyai sifat yang cenderung mudah untuk mengikat bahan organik, sehingga dapat mengendap di dalam sedimen di dasar air (Harahap, 1991 dalam [\(Ma'dika et al., 2021\)](#). Temuan ini menunjukkan bahwa hasil pengukuran Cr pada penelitian ini lebih rendah dari total beban sebenarnya karena sebagian telah terjadi pengendapan ke dasar sungai dan analisis air permukaan saja belum sepenuhnya menggambarkan total beban pencemaran di badan sungai untuk logam berat seperti Cr.

Selain kandungan logam berat, limbah industri penyamakan kulit juga mengandung bahan organik yang tinggi. Kandungan ini berasal dari berbagai tahapan proses produksi, mulai dari pra-penyamakan hingga proses penyamakan (tanning), yang umumnya menggunakan bahan-bahan seperti enzim, pelunak, dan zat pelarut organik. Akumulasi bahan organik tersebut kemudian dibuang bersama limbah cair ke badan air, sehingga meningkatkan kadar pencemar organik. Oleh karena itu, dalam penelitian ini parameter Biochemical Oxygen Demand (BOD) digunakan sebagai salah satu parameter utama untuk merepresentasikan tingkat pencemaran bahan organik dalam air. Nilai BOD yang tinggi mengindikasikan banyaknya bahan organik yang terlarut di dalam air dan membutuhkan oksigen untuk proses dekomposisinya. Berikut ini disajikan tabel hasil pengukuran nilai BOD pada masing-masing titik pengambilan sampel, yang kemudian dibandingkan dengan nilai baku mutu berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 untuk kualitas air kelas II.

Tabel 7. Hasil Pengukuran BOD dibandingkan dengan nilai Baku Mutu Kualitas Air

Titik	1	B.Limbah	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Baku Mutu (mg/L)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Hasil Pengukuran (mg/L)	6,7	74,21	7,67	9,36	9,15	6,11	7,42	7,58	6,09	7,0	6,73

Sumber : Hasil Pengolahan Peneliti 2025

Nilai BOD mewakili besaran limbah organik yang disumbangkan oleh limbah penyamakan kulit. Hasil pengukuran pada seluruh titik pengambilan sampel menunjukkan bahwa kadar BOD melebihi batas baku mutu menurut PP No. 82 Tahun 2001 untuk kelas II yaitu 3 mg/L. Nilai tertinggi berada pada titik Buangan Limbah yaitu sebesar 74.21 mg/L. Hal ini dapat menunjukkan bahwa aktivitas pembuangan limbah penyamakan kulit memberikan beban bahan organik yang signifikan ke dalam badan air. Tingginya bahan organik berasal dari sisa bahan kulit mentah seperti protein, lemak dan senyawa organik lain yang belum terurai sepenuhnya dalam proses penyamakan dan pengolahannya ([\(Juliyasri et al., 2019\)](#)). Sementara nilai terendah berada pada titik 8 sebesar 6,09 mg/L dimana nilai ini masih melebihi ambang batas baku mutu 3 mg/L. Seluruh titik sampel menunjukkan kualitas air yang tidak memenuhi standar baku mutu BOD menurut PP No. 82 Tahun 2001 Kelas II. Hal ini menandakan bahwa segmen sungai yang diamati telah mengalami pencemaran organik. Kandungan bahan organik yang tinggi akibat limbah industri yang terurai oleh mikroorganisme akan meningkatkan nilai BOD dan jika BOD tinggi, semakin besar pula konsumsi oksigen terlarut oleh mikroorganisme selama proses dekomposisi bahan organik berlangsung sehingga nilai oksigen terlarut dalam air sungai akan menurun ([\(Napitupulu & Putra, 2024\)](#)).

Oleh karena itu, untuk memahami lebih lanjut dampak dari pencemaran organik ini, penting juga untuk meninjau bagaimana perubahan nilai oksigen terlarut (DO) terjadi di sepanjang segmen sungai penelitian. Parameter DO digunakan untuk mengidentifikasi

ketersediaan oksigen di dalam air yang dibutuhkan oleh organisme akuatik serta sebagai indikator kondisi kualitas perairan. Hasil pengukuran DO (*Dissolved Oxygen*) disajikan pada tabel pada masing-masing titik pengambilan sampel, yang kemudian dibandingkan dengan nilai baku mutu berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 untuk kualitas air kelas II.

Tabel 8. Hasil Pengukuran DO dibandingkan dengan nilai Baku Mutu Kualitas Air

Titik	1	B.Limbah	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Baku Mutu (mg/L)	≥ 4	≥ 4	≥ 4	≥ 4	≥ 4	≥ 4	≥ 4	≥ 4	≥ 4	≥ 4	≥ 4
Hasil Pengukuran (mg/L)	1,77	1,44	1,78	1,79	1,82	1,82	1,6	1,79	1,85	1,81	1,63

Sumber : Hasil Pengolahan Peneliti 2025

Berdasarkan hasil pengukuran di lapangan pada tabel diatas, nilai DO (*Dissolved Oxygen*) di seluruh titik penelitian didapatkan hasil antara 1,44 mg/L hingga 1,85 mg/L, nilai ini berada jauh di bawah ambang batas minimum yang ditetapkan oleh PP No. 82 Tahun 2001 Kelas II, yaitu ≥ 4 mg/L. Nilai terendah ditemukan pada titik buangan limbah sebesar 1,44 mg/L, yang menandakan beban pencemar organik sangat tinggi dan menyebabkan kondisi hipoksia di badan air. Sementara nilai tertinggi dicatat di titik 8 sebesar 1,85 mg/L, yang diduga dipengaruhi oleh kondisi fisik vegetasi tepi sungai yang rapat, serta berkurangnya aktivitas pencemar secara langsung. Meskipun ada sedikit variasi antar titik, seluruh nilai DO menunjukkan kondisi perairan yang tergolong tercemar secara oksigen, dan tidak memenuhi standar kelayakan untuk ekosistem akuatik. Dengan demikian, secara baku mutu, seluruh titik dinyatakan tercemar secara biologis.

Untuk melihat potensi ion dan zat terlarut lain dalam air, dilakukan pengukuran *Electrical Conductivity* (EC). EC menggambarkan kapasitas air dalam mengalirkan arus listrik dan terkait dengan konsentrasi konsentrasi total ion terlarut dalam air seperti garam, logam, dan senyawa anorganik lainnya (Mohammed,2016). Nilai EC yang makin tinggi menunjukkan adanya peningkatan jumlah zat terlarut yang dapat berasal dari limbah domestik maupun industri, termasuk residu logam berat seperti Cr. Nilai *Electrical Conductivity* (EC) pada penelitian ini didapatkan hasil bervariasi diantara 370 μ /cm hingga 640 μ /cm. Semua nilai dari 10 titik sampel jika diklasifikasikan dengan klasifikasi *electrical conductivity* oleh Wilcox 1955 masuk kedalam kategori baik yaitu berada pada rentang 250-750 μ /cm disajikan pada tabel berikut:

Tabel 9. Hasil Pengukuran EC dibandingkan dengan nilai Klasifikasi oleh Wilcox 1955

Titik	1	B.Limbah	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Wilcox 1955 (μ /cm)	250-750 μ /cm (Kualitas Air Baik)										
Hasil Pengukuran (μ /cm)	370	640	370	400	390	380	390	410	400	400	400

Sumber : Hasil Pengolahan Peneliti 2025

Secara parameter ionik, air di Sungai Brantas pada lokasi penelitian tidak menunjukkan beban pencemaran anorganik yang berat. Hal ini sejalan dengan rendahnya nilai Cr di semua titik yang berada jauh dibawah batas maksimum dimana mengindikasikan bahwa kandungan ion logam berat pada air termasuk rendah dan belum menggambarkan

pencemaran logam berat yang signifikan. Parameter *Electrical Conductivity* (EC) dalam penelitian ini memperkuat temuan bahwa kualitas air Sungai Brantas, dalam hal kandungan zat terlarut, masih tergolong baik. Temuan ini juga memperkuat dugaan bahwa pengambilan sampel yang terbatas pada air permukaan (tali air), tanpa mencakup sedimen, juga mempengaruhi nilai *Electrical Conductivity* (EC) yang terdeteksi dikarenakan *Electrical Conductivity* (EC) yang hanya merepresentasikan konsentrasi ion terlarut dalam air, sementara logam berat seperti kromium (Cr) cenderung mengendap dan terakumulasi dalam sedimen ([Kurniawan & Mulyanto, 2023](#)) sehingga tidak sepenuhnya tercermin dalam hasil pengukuran EC.

Parameter pH berpengaruh penting untuk menentukan reaksi kimia dalam air, berdasarkan hasil pengukuran didapatkan hasil pH berkisar antara 6,9 – 7,6 menunjukkan kondisi netral hingga sedikit basa. Nilai ini masih berada dalam rentang baku mutu air sungai kelas II yaitu antara 6-9 (PP 82/2001). Berikut merupakan tabel hasil pengukuran pH jika dibandingkan dengan nilai baku mutu menurut PP No. 82 2001.

Tabel 10. Hasil Pengukuran pH dibandingkan dengan nilai baku mutu

Titik	1	B.Limbah	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Baku Mutu	6-9										
Hasil Pengukuran (μ/cm)	7,1	7,4	7,4	7	7,1	7,1	7,5	6,9	7,6	7,4	7

Sumber : Hasil Pengolahan Peneliti 2025

Berdasarkan tabel di atas, hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa perairan dalam kondisi netral dan air masih dalam kondisi stabil, ideal untuk mendukung kehidupan biota air meskipun terdapat pencemaran. Menurut Palar (1994) dalam ([Sukoasih & Widiyanto, 2017](#)) badan air yang memiliki nilai pH mendekati netral yakni sekitar 7 hingga 8 logam berat seperti kromium (Cr) cenderung berubah bentuk menjadi $\text{Cr}(\text{OH})^3$. Kondisi ini memperkuat kemungkinan bahwa sebagian besar Cr terendapkan di dasar sedimen bukan tersuspensi dalam air. Hart (1982) dalam ([Meirinna et al., 2013](#)) juga menjelaskan bahwa pada kondisi pH netral, logam berat cenderung membentuk ikatan dengan anion sehingga berubah menjadi senyawa kompleks organologam (baik organik maupun anorganik), yang pada akhirnya lebih mudah mengendap di dasar perairan. Hal ini memperkuat hipotesis bahwa sebagian kromium (Cr) sudah berpindah ke sedimen.

Suhu merupakan salah satu parameter fisik penting dalam penilaian kualitas air, meskipun tidak secara langsung menunjukkan pencemaran kimia atau biologis, namun suhu sangat berpengaruh terhadap kelarutan oksigen, metabolisme organisme air, dan proses dekomposisi bahan organik. Menurut ([Chapman.2000](#)) dalam ([Wijaya & Potalangib, 2024](#)) suhu perairan normal untuk wilayah tropis berkisar antara 25°C - 30°C . Berdasarkan PP No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, baku mutu suhu air untuk kelas II dinyatakan dalam bentuk deviasi maksimal sebesar $\pm 3^{\circ}\text{C}$ dari suhu alami perairan. Dari hasil pengukuran di lapangan, suhu air di lokasi penelitian berkisar antara $24,5^{\circ}\text{C}$ hingga 28°C , seperti yang ditunjukkan dalam tabel berikut:

Tabel 11. Hasil Pengukuran Suhu

Titik	1	B.Limbah	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Baku Mutu	25 ^o Deviasi 3										
Hasil Pengukuran	24.5	27.3	26.2	25.8	27	27.2	26.3	25.7	28	26.5	27

Sumber : Hasil Pengolahan Peneliti 2025

Seluruh nilai suhu air pada titik pengamatan masih berada dalam rentang deviasi yang diperbolehkan dalam batas baku mutu dimana pada PP No. 82 Tahun 2001 yaitu deviasi 3°C dari suhu acuan sebesar 25°C, sehingga tidak termasuk dalam kategori pencemaran termal menurut peraturan yang berlaku. Namun demikian, peningkatan suhu yang konsisten setelah titik buangan limbah, seperti terlihat dari perbedaan antara titik 1 (24,5°C) dan titik buangan limbah (27,3°C) menunjukkan adanya kemungkinan besar pengaruh yang berasal dari aktivitas industri penyamakan kulit yang berpotensi mempengaruhi proses kimia dan biologis dalam badan air ([Sigalingging, 2015](#)).

Kondisi fisik seperti kecepatan arus juga berperan penting dalam proses pelarutan oksigen dan pengenceran limbah di badan sungai, Dalam penelitian ini dilakukan pengukuran dengan metode pelampung dan dilakukan 3 kali pengulangan yang hasilnya kemudian di rata-rata dengan jarak lintasan pelampung sepanjang 10 meter yang setelah dilakukan perhitungan menggunakan rumus didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 12. Hasil Pengukuran Kec. Arus

Titik	1	B.Limbah	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Hasil Pengukuran (m/s)	0,60	-	0,67	1,01	0,79	1,00	0,94	0,98	0,92	0,67	1,68

Sumber : Hasil Pengolahan Peneliti 2025

Meskipun parameter ini tidak mempunyai ambang batas baku mutu dalam peraturan resmi, kecepatan arus tetap menjadi parameter yang penting dalam proses pengenceran dan penguraian pencemar di badan air. Kecepatan arus dapat berpengaruh terhadap tingkat aerasi alami dan kemampuan *self purification* sungai. dalam ([Kurniawan et al., 2022](#)) kecepatan arus sungai dibagi menjadi beberapa klasifikasi diantaranya kecepatan arus sangat deras sebesar >1 m/s, kecepatan arus deras berada pada rentang 0,5-1 m/s, kecepatan arus sedang berada pada rentang 0,25-0,50 m/s, kecepatan arus lambat berada pada rentang 0,1-0,25 m/s dan kecepatan arus sangat lambat berada pada rentang <0,1 m/s. Parameter kecepatan arus pada 10 titik lokasi pengambilan sampel menunjukkan variasi dengan nilai 0,60m/s sampai 1,68 m/s kecuali titik buangan limbah yang tidak terukur. Nilai tertinggi berada pada titik 10 sebesar 1,68 m/s, sedangkan yang terendah berada pada titik 1 sebesar 0,60 m/s. Sehingga sungai pada segmen penelitian masuk ke dalam kategori kecepatan arus sangat deras pada titik 10 dan pada titik lainnya masuk ke dalam kategori kecepatan arus deras.

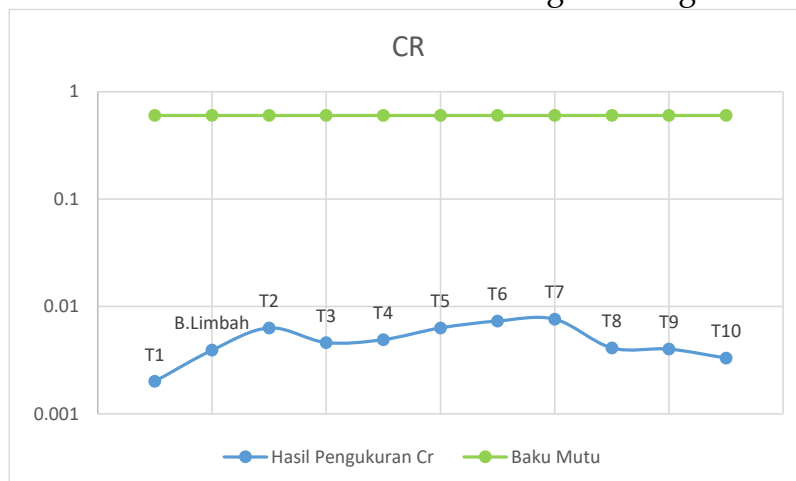
Selain berdasarkan hasil uji laboratorium, kondisi pencemaran juga diperkuat oleh observasi visual di lapangan dimana pada beberapa titik menunjukkan ciri-ciri fisik pencemaran seperti air berwarna coklat keruh bahkan kehitaman, adanya sampah rumah tangga, dan bau tidak sedap khususnya di sekitar lokasi buangan limbah. Ini memperkuat bahwa sebagian besar titik telah mengalami pencemaran. Dengan demikian, diketahui bahwa segmen Sungai Brantas pada lokasi penelitian menunjukkan bahwa bahan organik dan aktivitas manusia memberikan tekanan cukup kuat terhadap kondisi kualitas air di

segmen penelitian dan sebagian besar titik telah melebihi ambang batas baku mutu, khususnya pada parameter BOD meskipun parameter kimia seperti Cr masih berada di bawah baku mutu. Temuan ini menegaskan perlunya pengelolaan limbah industri dan limbah domestik serta dibutuhkan pengurangan beban organik di wilayah sepanjang aliran Sungai Brantas.

3.2 Tren perubahan tingkat pencemaran di sepanjang Sungai Brantas dari hulu (Kel. Mergosono) ke hilir (Kel. Kendalpayak)

Untuk mengetahui sejauh mana dampak pencemaran limbah pabrik penyamakan kulit terhadap kualitas air Sungai Brantas, maka dilakukan analisis tren spasial dari hulu ke hilir yang membentang sepanjang 5 km aliran sungai dan terbagi menjadi 10 segmen penelitian. Titik 1 sebagai titik acuan / kontrol dikarenakan titik ini berada sebelum buangan limbah industri penyamakan kulit, sedangkan Titik 2 hingga 10 mewakili area yang sudah bercampur potensi pencemar. Analisis ini memiliki tujuan untuk mengidentifikasi perubahan besaran dari parameter kualitas air secara bertahap sesuai arah aliran sungai dan mengetahui kemampuan Sungai Brantas dalam merespons beban pencemar. Setiap parameter dibandingkan berdasarkan perbedaan besaran nilai antar titik dan kondisi lingkungan serta adanya aktivitas manusia di sekitar lokasi pengambilan sampel. Berikut merupakan grafik pola tren perubahan dari parameter kromium (Cr) :

Grafik 1. Tren Perubahan Parameter Cr dibandingkan dengan nilai Baku Mutu

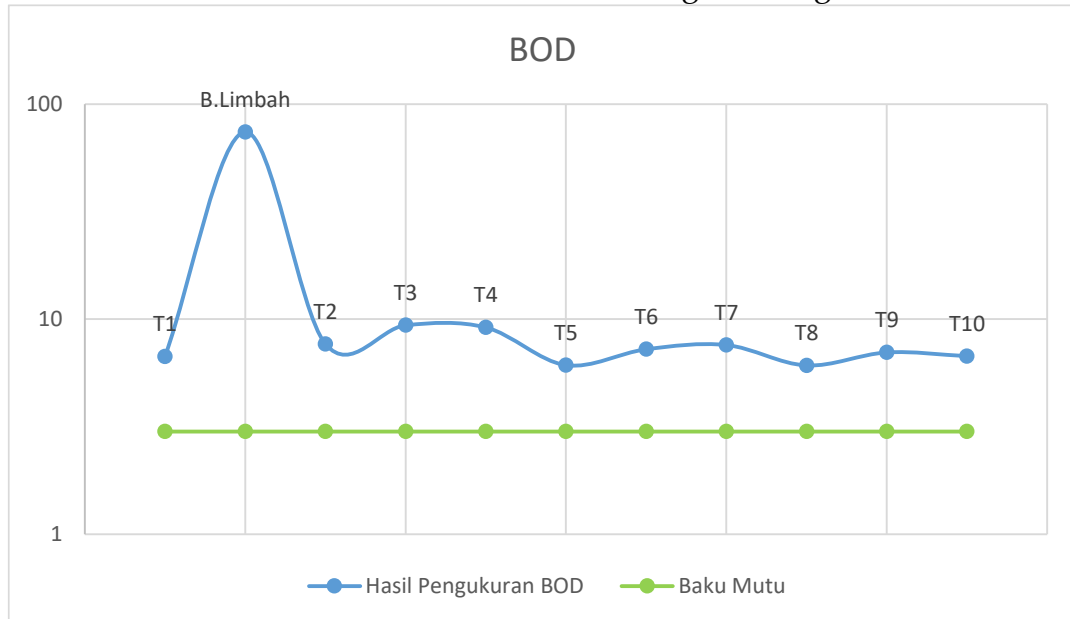


Sumber : Hasil Pengolahan Peneliti 2025

Berdasarkan grafik tren perubahan konsentrasi Cr dari titik 1 hingga titik 10, seluruh nilai berada sangat jauh di bawah ambang batas baku mutu limbah cair industri penyamakan kulit menurut Permen LHK No. 21 Tahun 2018 yaitu 0,6 mg/L. Titik 1 yang berfungsi sebagai titik kontrol memiliki nilai Cr terendah, yakni 0,002 mg/L. Kondisi ini menunjukkan bahwa sebelum menerima masukan limbah industri, konsentrasi logam berat di air masih berada pada kondisi dasar yang relatif rendah. Pada titik buangan limbah, kadar Cr meningkat menjadi 0,0039 mg/L sebagai indikasi awal masuknya logam ke badan air. Memasuki titik 2, nilai Cr kembali meningkat menjadi 0,0063 mg/L. Kenaikan ini berkaitan dengan proses pencampuran limbah yang mulai berlangsung lebih intens di aliran utama sungai. Titik 2 juga berada di segmen yang memungkinkan terjadinya turbulensi alami, sehingga partikel sedimen yang mengikat Cr dapat teraduk kembali dan meningkatkan Cr terlarut pada kolom air. Pada titik 3 nilai Cr menurun menjadi 0,0046 mg/L. Penurunan ini berkaitan dengan dinamika aliran sungai yang dapat mempercepat proses pengenceran dan

transport Cr ke hilir. Kecepatan arus yang tinggi di segmen ini mengurangi peluang akumulasi Cr di kolom air sehingga konsentrasinya menurun dari titik sebelumnya. Pada titik 4 nilai Cr sedikit meningkat menjadi 0,0049 mg/L. Kenaikan kecil ini dapat terjadi karena adanya pengadukan sedimen akibat variasi kecepatan aliran dan morfologi dasar sungai. Turbulensi lokal memungkinkan sebagian Cr yang sebelumnya mengendap kembali terangkat ke kolom air. Nilai Cr kemudian meningkat pada titik 5 menjadi 0,0063 mg/L. Segmen ini menunjukkan aliran yang lebih melebar, sehingga kecepatan alir berkurang dan memungkinkan partikel tersuspensi bertahan lebih lama dalam kolom air. Kondisi seperti ini dapat menyebabkan peningkatan konsentrasi Cr terlarut. Peningkatan terus berlanjut pada titik 6 menjadi 0,0073 mg/L dan mencapai puncaknya pada titik 7 sebesar 0,0076 mg/L. Meski titik ini lebih jauh dari sumber pencemar, peningkatan Cr dapat dijelaskan melalui proses akumulasi. Cr yang terbawa dari hulu tidak seluruhnya mengendap atau tertransport cepat, melainkan terkonsentrasi pada segmen tertentu akibat variasi dinamika aliran. Fenomena ini umum terjadi pada sungai dengan segmen-segmen yang memungkinkan penumpukan partikel tersuspensi dalam skala kecil. Setelah titik 7, konsentrasi Cr menurun pada titik 8 menjadi 0,0041 mg/L. Penurunan ini menunjukkan mulai dominannya proses *self-purification*, di mana aliran sungai yang stabil dan minim gangguan mempercepat pengenceran serta pengendapan ion Cr ke sedimen. Pada titik 9, Cr kembali menurun menjadi 0,0040 mg/L. Segmen ini berada dalam kondisi aliran yang lebih tenang sehingga memungkinkan pengendapan partikel secara bertahap. Akumulasi limbah dari hulu juga semakin berkurang pada segmen ini sehingga nilai Cr cenderung stabil. Penurunan berlanjut hingga titik 10, dengan Cr sebesar 0,0033 mg/L. Namun demikian, kecepatan arus yang sangat tinggi di titik ini yang merupakan tertinggi di antara seluruh titik pengamatan, berperan besar dalam mempercepat proses pengenceran dan distribusi Cr ke bagian hilir yang lebih jauh. Arus yang sangat deras memperkecil kemungkinan logam berat mengendap atau bertahan lama di kolom air. Penelitian ([Sigalingging, 2015](#)) juga menemukan bahwa segmen sungai dengan kecepatan arus lebih tinggi cenderung menunjukkan penurunan konsentrasi logam berat lebih cepat akibat pencampuran vertikal dan horizontal yang lebih intens. Penurunan ini menunjukkan adanya proses pengenceran alami / *self purification* di sepanjang aliran sungai. Proses ini terjadi karena arus sungai membantu menyebarkan dan mengurangi konsentrasi pencemar, sementara sebagian Cr mengalami pengendapan atau teradsorpsi oleh partikel-partikel sedimen ([Kurniawan & Mulyanto, 2023](#)). Kondisi morfologi sungai seperti keberadaan batuan, vegetasi, dan percepatan arus di beberapa titik juga mendukung proses ini. Meskipun kadar Cr secara umum tidak melebihi baku mutu, pola fluktuasinya menunjukkan kontribusi nyata dari buangan limbah terhadap kualitas air, dan peran penting dari aliran sungai dalam mengurangi konsentrasi pencemar secara bertahap seiring bertambahnya jarak dari titik sumber.

Grafik 2. Tren Perubahan Parameter BOD dibandingkan dengan nilai Baku Mutu



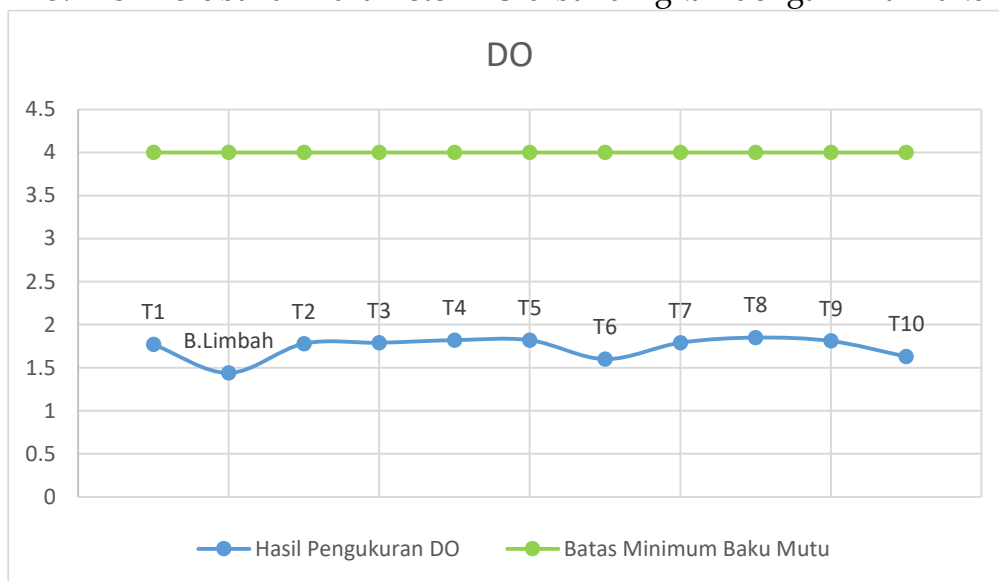
Sumber : Hasil Pengolahan Peneliti 2025

Berdasarkan grafik tren perubahan BOD dari titik titik 1 hingga titik 10 terlihat bahwa nilai BOD tertinggi terdapat pada titik buangan limbah yaitu sebesar 74,21 mg/L dimana nilai ini masih jauh melampaui baku mutu menurut PP No. 82 Tahun 2001 sebesar 3 mg/L. Lonjakan ini menunjukkan tingginya masukan bahan organik dari aktivitas industri penyamakan kulit. Setelah melewati titik buangan limbah, nilai BOD mengalami penurunan drastis pada titik 2 menjadi 7,67 mg/L. Penurunan tajam ini menunjukkan berjalannya proses pengenceran / dilusi oleh aliran sungai serta aerasi alami akibat turbulensi, yang mempercepat penurunan konsentrasi oksigen terlarut. Mekanisme ini sesuai dengan teori stream reaeration yang dijelaskan oleh ([Chapra et al.,2021](#)), bahwa aliran berkecepatan sedang hingga tinggi dapat menurunkan BOD melalui peningkatan suplai oksigen ke dalam air. Memasuki titik 3 dan titik 4, nilai BOD kembali meningkat menjadi 9,36 mg/L dan 9,15 mg/L. Kenaikan ini mengindikasikan adanya tambahan beban organik dari hulu, serta kemungkinan terjadinya resuspensi bahan organik di kolom air. Pada segmen ini aliran sungai masih relatif deras, sehingga proses pencampuran vertikal intens dapat mengangkat kembali partikel organik yang sebelumnya mengendap. Pada titik 5, nilai BOD menurun cukup signifikan hingga 6,11 mg/L. Penurunan ini dipengaruhi oleh morfologi sungai yang lebih lebar dan aliran yang stabil (1,00 m/s), sehingga proses pengenceran dan dispersi bahan organik berlangsung lebih efektif. Sungai yang melebar meningkatkan volume air, sehingga konsentrasi bahan organik menjadi lebih rendah meskipun masih berada di atas baku mutu. Selanjutnya, pada titik 6 dan titik 7 nilai BOD kembali meningkat menjadi 7,24 mg/L dan 7,58 mg/L. Arus di kedua titik ini masih berada pada kategori deras (0,94–0,98 m/s), namun bentuk aliran yang lebih sempit membuat kemampuan pengenceran menurun. Pada kondisi seperti ini, bahan organik yang terbawa dari hulu dapat bertahan lebih lama dalam kolom air karena terbatasnya ruang aliran untuk dispersi lateral. Memasuki bagian hilir (titik 8–10), nilai BOD menunjukkan tren penurunan kembali, yaitu 6,09 mg/L, 7,00 mg/L, dan 6,73 mg/L. Penurunan ini berkaitan dengan bertambah lebarnya sungai serta meningkatnya kecepatan arus pada segmen hilir, terutama pada titik 10 (1,68 m/s), yang merupakan arus tercepat di sepanjang lokasi penelitian.

Secara umum, tren spasial BOD menunjukkan adanya penurunan bertahap dari titik

buangan limbah hingga titik 10, namun belum kembali ke kondisi awal sebelum buangan yaitu titik 1, serta masih jauh dari standar kualitas air yang baik. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun Sungai Brantas memiliki kemampuan *self-purification*, proses tersebut belum cukup efisien untuk memulihkan kualitas air secara menyeluruh pada 5 km setelah buangan limbah. Hal ini juga sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Prakoso, 2019) dimana penelitian ini meneliti tentang penentuan waktu dan jarak tempuh alami Sungai Brantas akibat limbah organik rumah potong hewan Kel.Gadang dimana didapatkan hasil bahwa Sungai Brantas memerlukan waktu sekitar 6 jam 35 menit dan jarak $\pm 9,5$ km untuk menurunkan konsentrasi BOD akibat limbah organik. Selain itu, (Hendriarianti et al.2019) juga menyebutkan bahwa laju deoksigenasi karbon di Sungai Brantas tergolong sangat rendah yaitu 0,001–0,055 per hari, sehingga penguraian bahan organik oleh mikroorganisme berjalan lambat dan kurang efisien.

Grafik 3. Tren Perubahan Parameter DO dibandingkan dengan nilai Baku Mutu



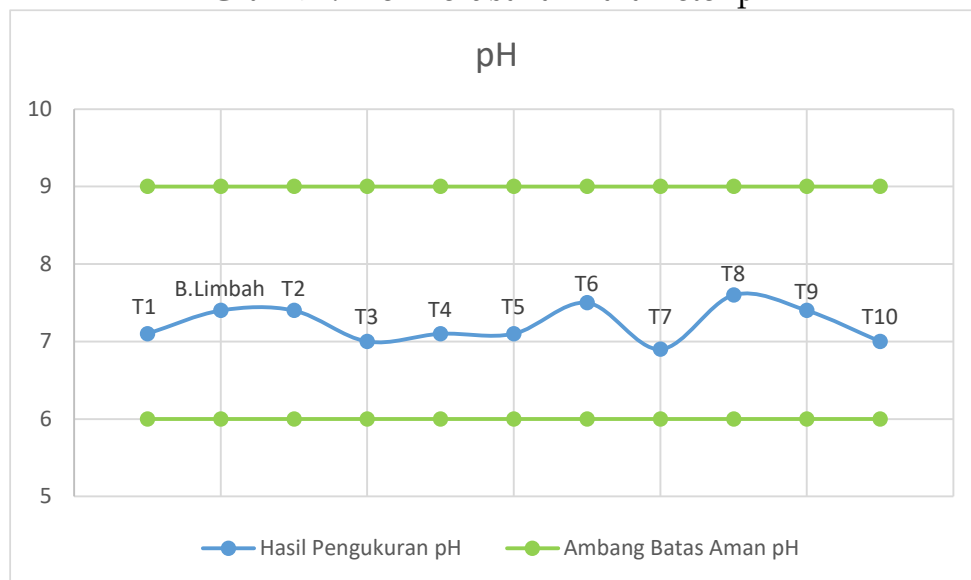
Sumber : Hasil Pengolahan Peneliti 2025

Berdasarkan grafik tren perubahan parameter DO dari titik 1-10 kadar oksigen terlarut (DO) di seluruh titik pengamatan menunjukkan bahwa tidak ada satu pun titik yang memenuhi baku mutu minimal 4 mg/L sesuai yang ditetapkan dalam PP No. 22 Tahun 2021 untuk air kelas II. Nilai DO berada pada rentang 1,44–1,85 mg/L, yang menunjukkan kondisi hipoksia atau kekurangan oksigen dan tidak ideal untuk menunjang kehidupan akuatik. Pola yang terbentuk memperlihatkan tiga titik dengan penurunan DO paling menonjol, yaitu titik buangan limbah, titik 6, dan titik 10, yang mengindikasikan area-area kritis dalam dinamika oksigen terlarut. Titik 1, yang merupakan lokasi sebelum buangan limbah, berfungsi sebagai titik kontrol awal dengan nilai DO sebesar 1,77 mg/L. Meskipun belum terkena langsung limbah industri, rendahnya DO di titik ini kemungkinan besar disebabkan oleh tingginya konsumsi oksigen oleh mikroorganisme akibat beban organik yang besar di lokasi tersebut. Titik dengan nilai DO terendah adalah titik buangan limbah, yaitu 1,44 mg/L. Titik ini merupakan lokasi pertemuan limbah dari industri penyamakan kulit, yang secara visual dicirikan oleh air berwarna hijau kehitaman, berbau busuk, dan penuh sampah. Kondisi ini mencerminkan pencemaran organik tinggi, di mana tingginya beban BOD menyebabkan mikroorganisme mengonsumsi oksigen dalam jumlah besar untuk menguraikan bahan organik, sehingga menurunkan konsentrasi DO secara drastis (Lusiana et al., 2020) Hal ini

juga sesuai dengan hasil analisis nilai BOD pada titik buangan limbah yang menjadi titik dengan nilai cemaran tertinggi pada parameter BOD.

Menariknya, pada titik 2 dan 3, nilai DO mulai mengalami kenaikan ringan ke angka 1,62 dan 1,78 mg/L. Hal ini bisa disebabkan oleh pengaruh arus sungai yang lebih aktif, karena titik 2 berada dekat dengan belokan sungai, sehingga meningkatkan turbulensi dan proses re-aerasi alami. Pada titik 4 dan 5 DO mencapai 1,82 mg/L yang merupakan salah satu nilai tertinggi di sepanjang pengamatan. Kenaikan ini mencerminkan turbulensi aliran, serta memperkuat proses re-aerasi dan *self purification* alami. Kemudian pada titik 6 nilai DO kembali mengalami penurunan menjadi 1,60 mg/L. Hal ini menunjukkan jika proses deoksigenasi masih terjadi pada segmen tengah dalam segmen penelitian ini. Menurunnya nilai DO pada titik ini berarti tetap tingginya beban organik terlarut yang terbawa dari hulu dan laju deoksigenasi Sungai Brantas yang diketahui rendah ([Hendriarianti et al., 2019](#)) sehingga pemulihan DO tidak berlangsung secara cepat meskipun arus relatif deras. Peningkatan kecil terjadi kembali di titik 7 dan mencapai puncaknya di titik 8 sebesar 1,85 mg/L dimana titik ini merupakan nilai tertinggi dalam pengamatan. Hal ini menggambarkan bahwa pada titik ini mengalami pengenceran dan reareasi lebih efektif. Akhirnya, pada titik 9 dan titik 10, nilai DO mengalami sedikit penurunan kembali ke 1,81 dan 1,63 mg/L. Meskipun titik 9 memiliki air yang tenang dan keruh, tidak ditemukan pencemar aktif. Sementara titik 10 menunjukkan banyaknya sampah yang memiliki akumulasi bahan organik dan arus sangat deras sehingga meningkatkan konsumsi oksigen yang digunakan untuk dekomposisi bahan organik halus yang terbawa oleh arus sehingga memperpanjang proses deoksigenasi.

Grafik 4. Tren Perubahan Parameter pH

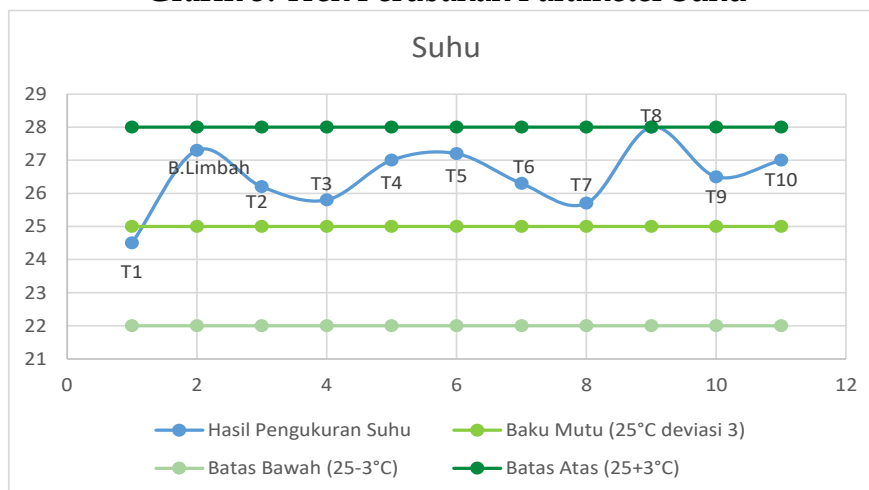


Sumber : Hasil Pengolahan Peneliti 2025

Berdasarkan hasil pengukuran di lapangan, nilai pH pada 10 titik penelitian berada pada rentang 6,9 hingga 7,6, yang berarti seluruhnya masih berada dalam rentang baku mutu kualitas air kelas II, yaitu 6–9 sesuai ketentuan dari Permen LHK No. 21 Tahun 2018. Secara umum, pH tergolong netral hingga sedikit basa, namun terdapat fluktuasi kecil secara spasial dari titik 1, titik buangan limbah hingga titik 10. Titik 1 memiliki pH 7,1 dan menjadi titik acuan sebelum masukan limbah. Pada titik buangan limbah pH meningkat dan terukur

sebesar 7,4 yang meskipun tergolong netral, tetap perlu dicermati karena berasal dari area pertemuan limbah berwarna hijau kehitaman dan penuh sampah. Nilai ini menunjukkan bahwa pH tidak terlalu terpengaruh oleh aktivitas buangan limbah penyamakan kulit, yang umumnya cenderung menurunkan pH menjadi lebih asam. Setelah titik buangan, pH tetap berada pada 7,4 di titik 2, sebelum kemudian menurun cukup jelas pada titik 3 menjadi 7,0. Penurunan ini juga bisa berkaitan dengan beban organik yang cukup tinggi yang ditunjukkan dengan nilai BOD sebesar 7,58 mg/L. Pada titik 4 hingga titik 5, pH kembali sebesar 7,1. Hal ini menunjukkan bahwa proses pengenceran dan turbulensi aliran dapat menetralkan perubahan pH pada titik sebelumnya. Fluktuasi mulai bisa dilihat pada titik 6 hingga 8 dimana pada titik 6 nilai pH diketahui sebesar 7,5 dan menurun sebesar 6,9 pada titik 7 kemudian mencapai puncaknya di titik 8 sebesar 7,6. Menariknya, pada titik 8 pada parameter BOD memiliki nilai yang terendah dari seluruh segmen penelitian yang mengindikasikan rendahnya beban bahan organik pada titik ini. Studi oleh Saalidong et al., (2022) menjelaskan bahwa pH basa ringan biasanya terkait dengan rendahnya bahan organik asam dan tingginya aktivitas fitoplankton yang melepaskan oksigen. Memungkinkan proses fotosintesis perifiton atau alga mikro berjalan dengan baik, sehingga dapat menyebabkan peningkatan pH akibat pelepasan ion hidroksida (OH^-). Hal ini juga diperkuat oleh hasil pengukuran bahwa nilai pada titik 8 memiliki nilai DO tertinggi pada segmen penelitian. Nilai pH pada titik 9 turun menjadi 7,4 dan menjadi 7,0 pada titik 10. Penurunan ini sesuai dengan karakteristik kualitas air pada segmen hilir dimana nilai BOD juga mengalami peningkatan pada titik 9 dan 10 dan nilai DO juga mengalami penurunan pada titik 9 dan 10. Kondisi ini membuktikan bahwa pengaruh aktivitas fotosintesis mulai berkurang, dan dinamika kualitas air kembali didominasi oleh proses pengenceran, turbulensi, juga adanya potensi masukan bahan organik dari penggunaan lahan di sekitar bantaran sungai.

Grafik 5. Tren Perubahan Parameter Suhu

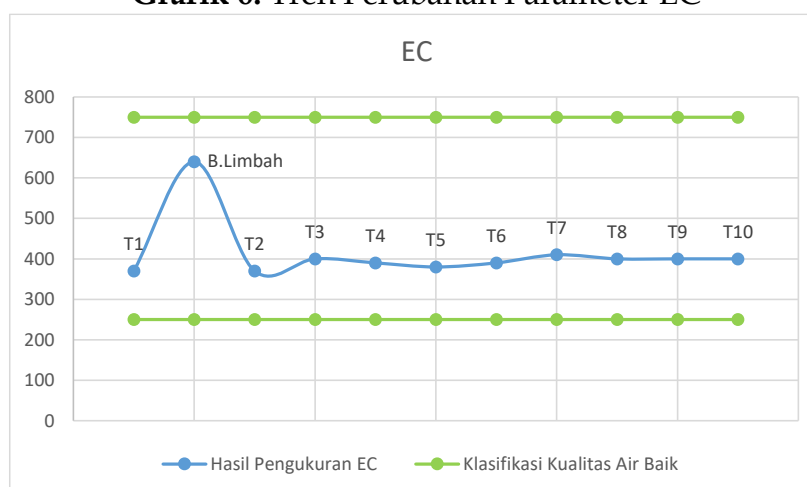


Sumber : Hasil Pengolahan Peneliti 2025

Hasil grafik tren perubahan parameter suhu menunjukkan bahwa suhu air mengalami peningkatan dari titik 1 yang menggambarkan kondisi perairan sebelum menerima masukan limbah sebesar 24,5°C dan pada titik buangan limbah suhu meningkat menjadi menjadi 27,3°C, yang merupakan nilai cukup tinggi pada segmen penelitian ini. Kenaikan ini dapat disebabkan oleh aktivitas industri dan domestik disekitar area buangan yang berpotensi meningkatkan suhu perairan dibandingkan dengan suhu alami sungai. Kemudian suhu mengalami penurunan pada titik 2 (26,2°C), hal ini menunjukkan adanya proses

pengenceran dan pencampuran alami oleh aliran sungai sehingga mengurangi pengaruh pemanasan yang berasal dari masukan limbah mengingat titik 2 merupakan area sungai yang lebih terbuka dan tidak memiliki peneduh. Kemudian penurunan berlanjut pada titik 3 sebesar $25,8^{\circ}\text{C}$ dimana pada titik ini memiliki tutupan vegetasi riparian yang lebih rapat, sehingga bisa memberikan efek peneduh terhadap badan sungai yang Diana kondisi ini dapat membuat paparan matahari akan berkurang sehingga mendukung penurunan suhu pada titik ini. Memasuki titik 4 dan titik 5 suhu kembali meningkat menjadi 27°C dan $27,2^{\circ}\text{C}$. Kenaikan suhu pada titik ini berkaitan dengan kondisi sungai yang kembali terbuka dengan vegetasi yang lebih jauh dari sempadan sungai serta waktu pengambilan sample yang semakin siang akibat medan yang sulit sehingga intensitas matahari semakin tinggi (Napitupulu & Putra, 2024). Penurunan ini sejalan dengan kondisi lapangan yang menunjukkan bahwa titik 7 memiliki vegetasi riparian yang rapat dan menutupi sebagian badan sungai, sehingga area tersebut lebih teduh dan tidak terpapar langsung radiasi matahari. Tutupan vegetasi ini berperan penting dalam meredam peningkatan suhu. Suhu kemudian meningkat ekstrem pada titik 8 hingga mencapai 28°C yang merupakan nilai tertinggi pada seluruh segmen penelitian. Meskipun area ini memiliki vegetasi di kedua sisi sungai, karakteristik sungai yang berbentuk lorong berbatu dengan dinding yang curam dan sempit menyebabkan radiasi panas terperangkap dan memantul kembali ke permukaan air. Kondisi ini, ditambah dengan waktu pengukuran yang sudah memasuki siang hari, meningkatkan efek pemanasan. Selain itu, aliran sungai yang deras pada segmen ini mempercepat pencampuran air, sehingga kenaikan suhu terjadi lebih merata dan signifikan. Setelah titik 8, suhu kembali menurun menjadi $26,5^{\circ}\text{C}$ pada titik 9. Hal ini disebabkan oleh adanya bagian sungai yang kembali teduh pada titik ini didominasi lumpur basah yang cenderung mempertahankan suhu lebih rendah dibandingkan batuan terbuka serta morfologi sungai yang memungkinkan turbulensi lebih besar juga arus yang lebih tenang sehingga membantu menurunkan suhu. Pada titik 10, suhu sedikit meningkat kembali menjadi 27°C . Peningkatan kecil ini dapat dihubungkan dengan kondisi titik yang lebih terbuka serta terdapat akumulasi sampah yang dapat menyerap panas serta waktu pengukuran yang sudah semakin siang sehingga radiasi matahari kembali memberikan pengaruh terhadap suhu permukaan air.

Grafik 6. Tren Perubahan Parameter EC



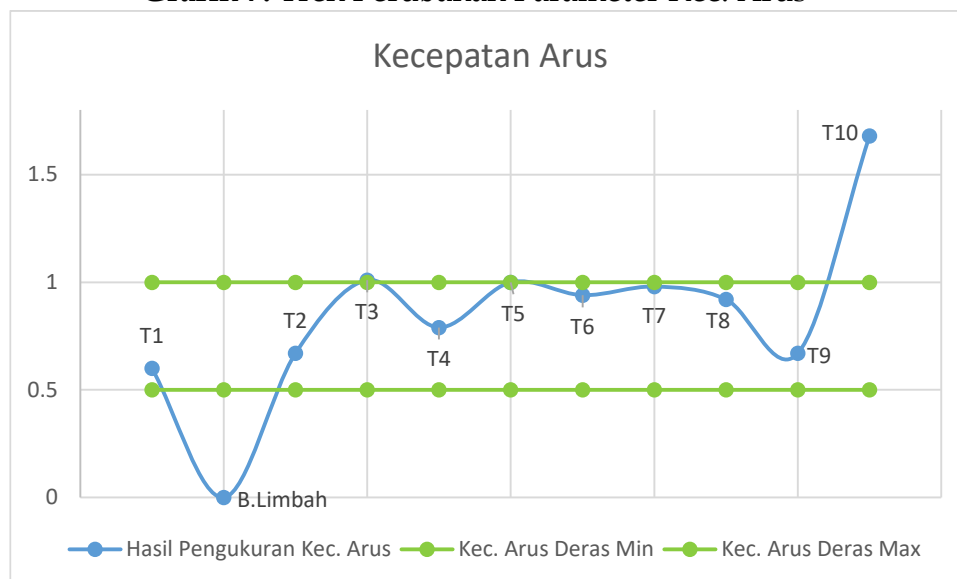
Sumber : Hasil Pengolahan Peneliti 2025

Berdasarkan grafik tren perubahan parameter Electrical Conductivity (EC) pada titik 1

hingga titik 10, nilai tertinggi terjadi pada titik buangan limbah, yaitu sebesar 640 μ /cm. Nilai ini meningkat drastis dibandingkan dengan titik 1 yang hanya sebesar 370 μ /cm. Kenaikan ini menunjukkan adanya penambahan zat terlarut dari limbah industri penyamakan kulit yang mengandung berbagai senyawa anorganik, ion logam, serta garam-garam dari proses penyamakan. Namun, pada titik 2 nilai EC justru kembali menurun menjadi 370 μ /cm, yang setara dengan titik 1. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Kemungkinan limbah belum tercampur merata ke seluruh kolom air sehingga pengukuran hanya mencerminkan lapisan permukaan air (Sigalingging, 2015). Kedua, lokasi titik 2 yang berada di dekat belokan sungai dan dekat dengan area pemukiman juga dominasi sampah domestik memungkinkan terjadinya penyebaran limbah ke arah pinggir sungai dan dilusi yang cepat oleh arus utama, sehingga nilai EC bisa kembali rendah. Hal ini memperkuat dugaan bahwa proses pencampuran limbah dengan massa air sungai belum terjadi secara merata pada titik tersebut. Kemudian, dari titik 3 hingga titik 10, nilai EC cenderung stabil pada rentang 380–410 μ /cm.

Nilai yang relative stabil ini menunjukkan bahwa pengaruh limbah tidak menyebabkan kenaikan yang terus menerus, dan kualitas air pada parameter kandungan zat terlarut masih tergolong baik. Ini sesuai dengan klasifikasi yang menyatakan bahwa kualitas air dengan rentang 250–750 μ /cm termasuk dalam kategori baik. Kandungan zat terlarut anorganik di air Sungai Brantas segmen penelitian tidak menunjukkan pencemaran yang signifikan. Dengan demikian, meskipun terjadi lonjakan nilai EC sesaat setelah titik buangan limbah, sistem perairan menunjukkan kemampuan pengenceran alami / *self-purification* yang cukup baik. Didukung dengan hasil parameter Cr yang menunjukkan nilai sangat rendah di seluruh titik karena hanya merepresentasikan konsentrasi ion terlarut dalam air.

Grafik 7. Tren Perubahan Parameter Kec. Arus



Sumber : Hasil Pengolahan Peneliti 2025

Berdasarkan hasil grafik tren perubahan parameter kecepatan arus dapat diamati bahwa kecepatan arus di sepanjang segmen sungai penelitian menunjukkan variasi dari 0,60 m/s hingga 1,68 m/s, dengan nilai tertinggi terdapat pada titik 10 dan nilai terendah pada titik 1. Pada titik 1 dengan kecepatan 0,60 m/s ini menunjukkan bahwa kondisi hulu relative stabil. Pada titik buangan limbah, kecepatan arus tidak terukur dikarenakan tingginya turbulensi dan aliran yang tidak stabil saat limbah masuk ke dalam badan air. Pada titik 2

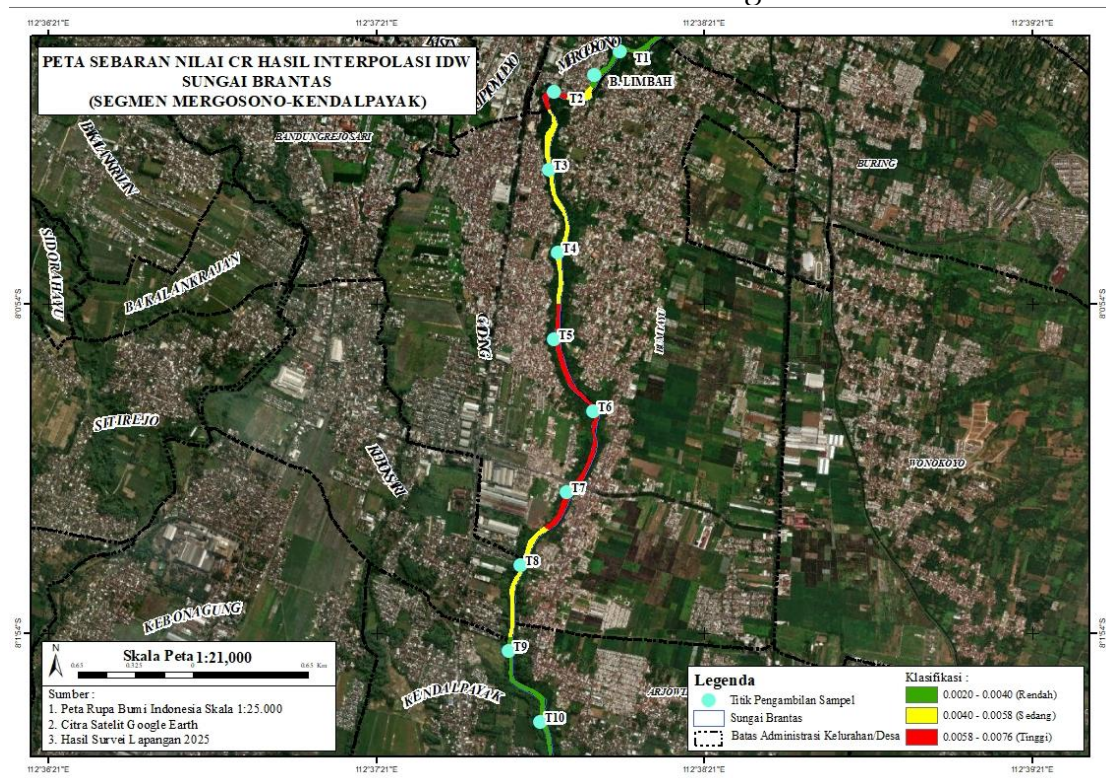
kecepatan arus terukur sebesar 0,67 m/s dan meningkat pada titik 3 sebesar 1,01 m/s. Kenaikan ini berkaitan dengan kondisi sungai yang lebih menyempit. Pada titik 4 kecepatan arus menurun menjadi 0,79 m/s dan meningkat kembali pada titik 5 sebesar 1,06 m/s dimana pola pada segmen tengah ini menunjukkan struktur alur yang bervariasi, terdiri dari bagian yang menyempit dan melebar yang dapat mempengaruhi percepatan aliran. Pada titik 8 mengalami penurunan sedikit menjadi 0,92 m/s yang diakibatkan dari karakteristik sekitar titik dimana pada lokasi ini cenderung berbatu yang dapat menyebabkan turbulensi vertikal sehingga mengurangi komponen kecepatan horizontal. Pada titik 9 kecepatan arus menurun cukup signifikan yaitu terukur sebesar 0,67 m/s dikarenakan perubahan bentuk sungai yang menjadi lebih lebar. Pada titik ini didominasi oleh lumpur sehingga aliran lebih tertahan dan bergerak lebih lambat dibandingkan dengan titik sebelumnya yang memiliki bagian yang berbatu. Vegetasi pinggir sungai juga lebih rapat sehingga dapat membuat aliran lebih tenang. Kombinasi ini dapat menyebabkan kecepatan arus di titik 9 menurun cukup signifikan dibandingkan titik 8. Kemudian di titik 10 meningkat sangat tinggi hingga 1,68 m/s yang disebabkan oleh bentuk sungai yang menyempit dikarenakan adanya tumpukan sampah sehingga alirannya terkonsentrasi pada titik tertentu dan bergerak lebih cepat dan juga titik ini berada tidak jauh dari area jeram, sehingga gradien aliran cenderung lebih curam dan memberikan tambahan dorongan terhadap kecepatan arus. Kategori kecepatan arus membagi arus sungai menjadi beberapa kelas, titik 1-9 dalam penelitian ini masuk ke dalam kategori kecepatan arus deras dengan rentang 0,5–1 m/s dan titik 10 dengan kecepatan arus 1,68 m/s, tergolong dalam arus sangat deras, yang secara teoritis mendukung proses *self purification* yang lebih baik melalui peningkatan turbulensi dan pertukaran oksigen antara air dan udara (re-aerasi). Maka pola kecepatan arus di sepanjang segmen penelitian menunjukkan peran pentingnya untuk mendukung proses alami *self-purification*. Titik-titik dengan kecepatan arus tinggi cenderung memiliki kualitas air yang lebih baik, memperkuat hubungan antara parameter fisik dan kimia air dalam sistem perairan yang kompleks seperti pada area penelitian yaitu Sungai Brantas (Napitupulu & Putra, 2024).

3.3 Pola Sebaran Spasial Kualitas Air Berdasarkan Analisis GIS

Analisis spasial diperlukan untuk melihat bagaimana konsentrasi pencemar tersebar dari hulu ke hilir serta bagaimana karakter lingkungan di sekitar sungai mempengaruhi kualitas air. Untuk itu digunakan beberapa data spasial, yaitu peta hasil interpolasi IDW untuk parameter Cr dan BOD, peta penggunaan lahan di sekitar titik pengambilan sampel, serta dokumentasi visual lapangan pada tiap titik. Kombinasi ketiga sumber informasi tersebut memungkinkan interpretasi yang lebih komprehensif mengenai hubungan antara kondisi biofisik sungai, aktivitas manusia, dan variasi kualitas air sepanjang aliran.

Analisis spasial melalui interpolasi IDW digunakan untuk menggambarkan pola penyebaran konsentrasi Cr dan BOD dari hulu (Kel. Mergosono) hingga hilir (Kel. Kendalpayak). Metode ini dipilih karena sesuai untuk memodelkan variasi setiap titik yang memiliki pengaruh terhadap area di sekitarnya dan pengaruh tersebut akan semakin besar jika jaraknya semakin dekat. Hasil interpolasi memberikan gambaran mengenai kecenderungan peningkatan atau penurunan kualitas air di sepanjang 5 km segmen penelitian. Berikut merupakan hasil peta sebaran nilai Cr hasil interpolasi IDW Sungai Brantas.

Gambar 2. Peta Sebaran Nilai Cr Sungai Brantas



Sumber : Hasil Pengolahan Peneliti 2025

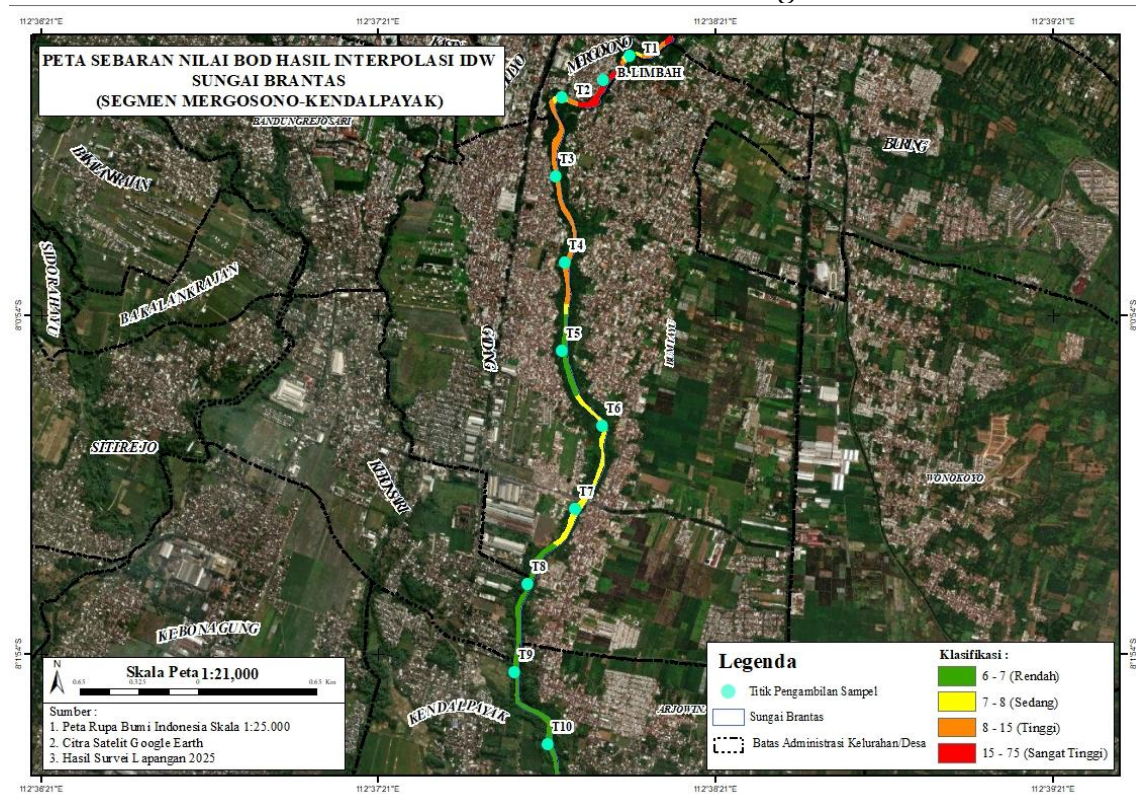
Berdasarkan peta sebaran nilai Cr dari hasil interpolasi IDW pada Segmen Sungai Brantas Mergosono–Kendalpayak, pola distribusi kromium menunjukkan variasi spasial yang fluktuatif di sepanjang aliran sungai. Pada peta ini, hasil interpolasi diklasifikasikan menjadi tiga kelas konsentrasi. Klasifikasi ke dalam tiga kelas ini tidak digunakan untuk melihat tingkat pencemaran air sungai, tetapi digunakan untuk menunjukkan pola sebaran spasial dari konsentrasi terendah hingga tertinggi pada sepanjang segmen penelitian. Hal ini disebabkan seluruh sebaran nilai Cr masih berada sangat jauh di bawah baku mutu 0,6 mg/L sesuai Permen LHK No. 21 Tahun 2018. Klasifikasi kelas yang digunakan yaitu rendah (0,0020–0,0040 mg/L) yang ditunjukkan dengan warna hijau, sedang (0,0040–0,0058 mg/L) berwarna kuning, dan tinggi (0,0058–0,0076 mg/L) berwarna merah.

Hasilnya nilai Cr relative rendah mendominasi pada bagian hulu (titik 1 dan b. limbah) dan hilir (titik 8 - titik 10), sedangkan nilai dengan konsentrasi yang lebih tinggi terkonsentrasi pada bagian tengah segmen penelitian sekitar titik 3 hingga titik 7. Hal ini menunjukkan adanya zona peningkatan lokal Cr pada segmen tengah sungai yang menjadi area pencampuran dan penyebaran logam dari sumber pencemar utama. Meskipun terdapat zona dengan konsentrasi relatif lebih tinggi, terjadi perubahan warna dari hijau ke merah pada rentang titik b. limbah hingga titik 2 yang menggambarkan adanya peningkatan nilai Cr akibat pencampuran awal limbah dengan air sungai. Setelah itu, warna pada peta berubah menjadi kuning pada titik 3 yang menunjukkan penurunan konsentrasi akibat pengenceran alami (dilusi). Namun, pada rentang titik 4 hingga titik 7 hasil interpolasi menunjukkan warna menjadi merah yang menandakan area dengan nilai Cr tertinggi. Setelah itu nilai Cr mengalami penurunan bertahap menuju hilir hingga titik 10. Variasi warna dan fluktuasi juga dapat dipengaruhi oleh karakteristik pengambilan sample yang berfokus pada

tali air yang dimana hasil yang terukur hanya merepresentasikan kandungan logam terlarut tanpa menggambarkan logam berat yang telah mengendap. Maka, peta IDW Cr ini menunjukkan bahwa sebaran parameter Cr pada segmen Sungai Brantas Mergosono-Kendalpayak bersifat fluktuatif dimana konsentrasi tertinggi pada bagian tengah dan menurun ke arah hilir sehingga proses *self-purification* sungai telah terjadi.

Setelah mengetahui pola sebaran logam berat Kromium (Cr), analisis selanjutnya dilakukan pada parameter Biochemical Oxygen Demand (BOD) yang berguna untuk melihat pola sebaran beban pencemar organik di sepanjang aliran Sungai Brantas segmen penelitian. Berikut merupakan hasil peta sebaran nilai BOD hasil interpolasi IDW Sungai Brantas.

Gambar 3. Peta Sebaran Nilai BOD Sungai Brantas



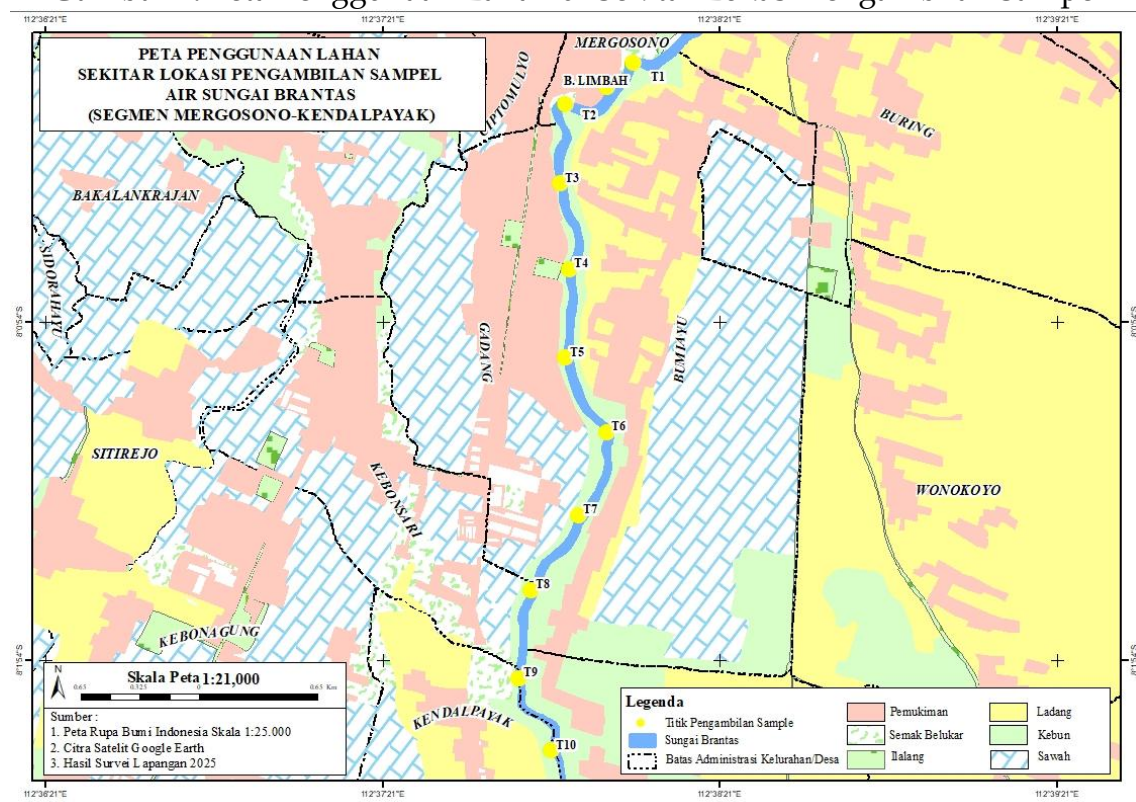
Sumber : Hasil Pengolahan Peneliti 2025

Berdasarkan peta sebaran nilai Biochemical Oxygen Demand (BOD) dari hasil interpolasi IDW pada Segmen Sungai Brantas Mergosono–Kendalpayak, pola distribusi BOD menunjukkan variasi spasial yang tidak merata di sepanjang aliran sungai. Nilai BOD yang diperoleh merepresentasikan tingkat kandungan bahan organik terlarut dalam air, di mana semakin tinggi nilainya semakin besar pula kebutuhan oksigen untuk proses penguraian bahan organik tersebut oleh mikroorganisme. Pada peta ini, hasil interpolasi diklasifikasikan ke dalam empat kelas konsentrasi, yaitu rendah (6–7 mg/L) berwarna hijau, sedang (7–8 mg/L) berwarna kuning, tinggi (8–15 mg/L) berwarna oranye, dan sangat tinggi (15–75 mg/L) berwarna merah. Nilai BOD pada segmen penelitian umumnya berada pada kisaran 6–9 mg/L yang berarti seluruh nilai BOD tetap berada di atas baku mutu air kelas II sebesar 3 mg/L, sehingga menunjukkan bahwa beban bahan organik di sepanjang segmen penelitian masih tergolong tinggi secara mutu lingkungan. Klasifikasi ini tidak digunakan untuk menilai status pencemaran sungai, tetapi bertujuan untuk menunjukkan pola sebaran spasial

beban organik dari konsentrasi terendah hingga tertinggi di sepanjang segmen penelitian.

Hasilnya menunjukkan bahwa nilai BOD tertinggi terkonsentrasi di area buangan limbah dan titik 1 (warna merah), yang menandakan beban bahan organik paling besar berada pada bagian hulu sungai dekat sumber pencemar. Selanjutnya, pada titik 2 hingga titik 5, warna peta berubah menjadi oranye hingga kuning, yang menunjukkan penurunan nilai BOD ke dalam kategori tinggi hingga sedang. Penurunan ini disebabkan oleh proses pengenceran alami (dilusi) serta aerasi akibat pergerakan arus, sehingga konsentrasi bahan organik berkurang secara bertahap di kolom air. Pada bagian hilir (titik 6 hingga titik 10), peta menunjukkan warna dominan hijau, menandakan nilai BOD yang semakin rendah. Hal ini menunjukkan bahwa proses alami sungai (*self-purification*) telah berlangsung dengan baik, di mana oksigen terlarut kembali meningkat dan kemampuan sungai dalam menetralkan bahan organik semakin efektif. Perubahan warna dari merah ke hijau pada peta memperlihatkan proses penurunan beban organik dari hulu ke hilir secara alami. Pola perubahan ini tidak hanya dipengaruhi oleh proses alami di badan sungai seperti pengenceran dan aerasi, tetapi juga sangat berkaitan dengan pola penggunaan lahan di sekitar aliran sungai ([Burrough & Mcdonnell, 1998](#)). Oleh karena itu, pola sebaran Cr dan BOD akan dianalisis lebih lanjut dengan mengaitkan penggunaan lahan dan kondisi aktivitas manusia di sepanjang sempadan sungai, serta diperkuat dengan dokumentasi visual hasil survei lapangan untuk menjelaskan faktor-faktor spasial yang memengaruhi fluktuasi nilai Cr dan BOD di sepanjang segmen penelitian. Berikut merupakan peta penggunaan lahan di sekitar lokasi pengambilan sample.

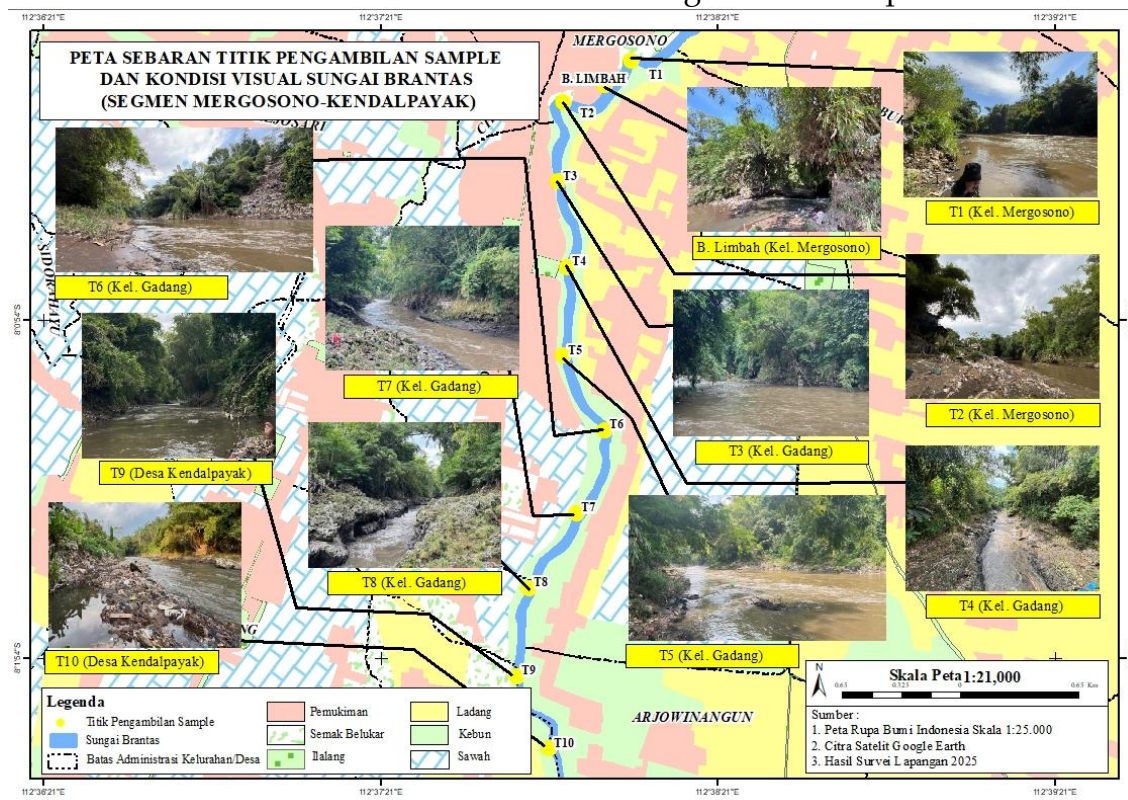
Gambar 4. Peta Penggunaan Lahan di Sekitar Lokasi Pengambilan Sampel



Sumber : Hasil Pengolahan Peneliti 2025

Berdasarkan Peta Penggunaan Lahan pada segmen penelitian, area di sepanjang lokasi pengambilan sampel didominasi oleh campuran pemukiman, kebun, semak belukar, dan sawah. Variasi penggunaan lahan ini berpengaruh langsung terhadap masukan bahan organik dan anorganik ke Sungai Brantas, yang kemudian tercermin pada pola nilai Cr dan BOD tiap titik sampel. Pada titik 1, penggunaan lahan didominasi semak belukar, pemukiman, serta kebun, yang masih mencerminkan kondisi hulu dengan tekanan aktivitas manusia yang relatif sedang. Titik Buangan Limbah berada pada pemukiman padat dan menjadi titik pertemuan limbah dan badan air. Titik 2 juga berada pada zona semak belukar dan kebun, tetapi lebih dekat dengan pemukiman padat sehingga potensi limpasan domestik lebih tinggi. Pada titik 3, penggunaan lahan berupa kebun yang bertransformasi menuju pemukiman, sedangkan titik 4 kembali didominasi kebun dan ladang. Titik 5 berada di sekitar pemukiman dan kebun, sementara titik 6 dan titik 7 berada pada kawasan kebun dan sawah dengan jarak yang lebih dekat ke area pemukiman. Titik 8 menunjukkan kombinasi kebun dan sawah, sedangkan titik 9 berada pada zona kebun dan semak belukar. Adapun titik 10 berada pada bagian hilir dengan campuran sawah, ladang, dan kebun. Untuk memvalidasi informasi penggunaan lahan, observasi lapangan dan dokumentasi visual pada tiap titik juga ditampilkan pada Gambar 5 di bawah sehingga hubungan antara kondisi biofisik sungai dan hasil pengukuran dapat dipahami secara lebih kontekstual.

Gambar 5. Kondisi Visual di Sekitar Lokasi Pengambilan Sampel



Sumber : Hasil Pengolahan Peneliti 2025

Jika dilihat dari peta penggunaan lahan pada titik 1 merupakan penggunaan lahan berupa semak belukar dan divalidasi dengan kondisi visual di sekitar lokasi pengambilan sampel diatas, dimana pada titik 1, penggunaan lahan berupa semak belukar dan kebun yang berdekatan dengan pemukiman. Secara visual, kondisi sungai relatif lebih terbuka, arus moderat, dan terdapat tumpukan sampah domestik pada tepi sungai. Nilai Cr di titik ini

sebesar 0,002 mg/L yang merupakan konsentrasi terendah pada seluruh segmen, sedangkan nilai BOD sebesar 6,7 mg/L. Kombinasi lahan vegetatif dan intensitas aktivitas manusia yang masih rendah menjelaskan mengapa beban logam di titik ini kecil, meskipun beban organik tetap muncul akibat limbah domestik non-terolah dari pemukiman sekitar. Titik Buangan Limbah berada tepat di area pemukiman padat dan menjadi lokasi pertama masuknya limbah industri ke badan sungai. Visual lapangan menunjukkan pertemuan aliran limbah dan air sungai yang mengalami perubahan warna lebih keruh dan sedikit abu-abu kehitaman serta bau yang busuk. Kondisi ini selaras dengan peningkatan Cr pada titik berikutnya, yang mengindikasikan awal proses pencampuran limbah sebelum terbawa arus ke hilir.

Titik B. Limbah terletak pada area permukiman padat penduduk yang terhubung langsung dengan aliran sungai tanpa adanya sistem pengolahan limbah terlebih dahulu. Kondisi visual menunjukkan bahwa area ini berbau busuk, air berwarna sedikit hijau kehitaman, serta terdapat banyak tumpukan sampah domestik di sekitar lokasi pembuangan. Warna air yang gelap menunjukkan adanya kandungan bahan organik tinggi, sejalan dengan nilai BOD yang mencapai 74,21 mg/L, jauh di atas baku mutu 3 mg/L. Nilai yang tinggi ini mengindikasikan masukan limbah organik langsung dari aktivitas domestik dan industri, yang memperbesar beban oksigen terlarut di sungai. Dimana hasil pengukuran DO menunjukkan pada titik ini merupakan titik dengan nilai DO terendah sebesar 1,44mg/L. Sementara itu, parameter Cr di titik ini juga mulai meningkat dibandingkan titik kontrol (titik 1) dari 0,002 mg/L menjadi 0,0039 mg/L. Peningkatan ini menunjukkan bahwa pencemar anorganik seperti logam berat mulai masuk ke badan air, yang berasal dari aktivitas penyamakan kulit dan limbah rumah tangga yang menggunakan deterjen atau bahan kimia lainnya. Secara umum, titik buangan limbah ini menjadi sumber utama kontribusi beban pencemar organik dan anorganik bagi segmen sungai di bagian hilir.

Titik 2 berada pada area dengan penggunaan lahan berupa semak belukar dan kebun, namun lokasinya berdekatan dengan zona permukiman padat di bagian belakang. Berdasarkan kondisi visual, segmen sungai pada titik ini memiliki sempadan yang cukup lebar dan vegetasi yang lebih terbuka, serta terletak di belokan sungai dengan arus 0,67 m/s. Warna air terlihat coklat keruh, banyak sampah rumah tangga, namun tidak berbau menyengat. Kedekatan dengan permukiman menyebabkan tingginya potensi limpasan domestik yang membawa sisa bahan organik ke badan sungai. Hal ini berkontribusi terhadap nilai BOD sebesar 7 mg/L, yang termasuk dalam kategori tinggi berdasarkan hasil interpolasi IDW. Nilai tersebut menunjukkan bahwa beban bahan organik pada titik ini masih cukup besar akibat aktivitas antropogenik di sekitar sungai. Untuk parameter Cr, konsentrasi meningkat dari 0,0039 mg/L pada titik buangan limbah menjadi 0,0063 mg/L di titik 2. Peningkatan ini disebabkan oleh proses pencampuran awal limbah dengan air sungai di area belokan, di mana turbulensi arus membantu menyebarkan logam berat ke kolom air utama. Selain itu, minimnya vegetasi riparian pada sempadan sungai membuat tidak ada penyaring alami yang dapat menghambat masuknya logam dan bahan organik dari daratan ke perairan. Secara umum, karakter lahan pada titik 2 sudah menunjukkan dominan aktivitas manusia, yang memperbesar peluang masuknya kontaminan organik maupun anorganik dari lingkungan sekitar ke badan air ([Sigalingging, 2015](#)).

Pada titik 3, baik parameter Cr maupun BOD menunjukkan perubahan yang cukup mencolok dibandingkan titik sebelumnya. Berdasarkan peta penggunaan lahan, area sekitar titik ini didominasi oleh kebun yang berbatasan langsung dengan sungai, dengan pemukiman berada di belakangnya. Visual lapangan menunjukkan bahwa segmen ini memiliki vegetasi yang lebih lebat, arus lebih deras, dan aktivitas antropogenik yang relatif

rendah. Untuk parameter Cr nilai menurun menjadi 0,0046 mg/L, lebih rendah dari titik 2. Penurunan ini berkaitan dengan sifat kromium yang memiliki kecenderungan kuat untuk teradsorpsi pada partikel sedimen dan bahan organik. Selain itu, kecepatan arus yang mencapai 1,01 m/s menyebabkan sebagian Cr yang terlarut terbawa lebih cepat ke hilir, sehingga tidak banyak terukur pada kolom air di titik 3. Proses pengenceran alami akibat masuknya debit dari vegetasi kebun juga dapat menurunkan konsentrasi terlarutnya. Temuan ini konsisten dengan penelitian ([Kurniawan & Mulyanto.2023](#)) yang menjelaskan bahwa variasi arus dan dinamika sedimen merupakan faktor utama dalam mengontrol fluktuasi logam berat pada sistem sungai. Berbeda dengan Cr, nilai BOD pada titik 3 justru meningkat menjadi 9,36 mg/L. Kenaikan ini diduga kuat berasal dari masukan limbah organik Rumah Potong Hewan (RPH) Gadang yang berada tidak jauh dari titik ini. Limbah dari aktivitas pemotongan hewan diketahui mengandung bahan organik sangat tinggi seperti darah, jaringan hewan, dan isi rumen, yang dapat meningkatkan kebutuhan oksigen terlarut ketika masuk ke badan air. Penelitian ([Prakoso,2019](#)) menunjukkan bahwa limbah RPH Gadang memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan BOD, COD, dan TSS di Sungai Brantas, mendukung temuan pada titik ini. Selain itu, limpasan dari area pemukiman di belakang zona kebun turut memperkaya bahan organik yang masuk ke sungai. Dengan demikian, peningkatan BOD pada titik 3 merupakan kombinasi dari pengaruh penggunaan lahan kebun dan pemukiman, masukan limbah RPH, serta arus yang cepat, yang mempercepat proses pencampuran dan resuspensi sedimen organik di kolom air.

Pada titik 4, nilai Cr dan BOD menunjukkan perubahan yang lebih halus dan penurunan kecil ini konsisten dengan kondisi penggunaan lahan dan aktivitas di sekitar lokasi. Berdasarkan peta penggunaan lahan, titik ini berada pada kawasan kebun dan ladang yang relatif jauh dari permukiman padat maupun sumber pencemar organik langsung seperti RPH (yang mempengaruhi titik 3). Dokumentasi visual menunjukkan bahwa segmen ini memiliki aktivitas manusia yang sangat minim, lebar sungai yang lebih sempit, arus deras, vegetasi tepi sungai yang rimbun dan tepi sungai berbatu. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa masukan bahan organik eksternal pada titik 4 jauh lebih kecil dibandingkan titik sebelumnya. Penurunan BOD dari 9,36 mg/L (titik 3) menjadi 9,15 mg/L pada titik ini lebih disebabkan oleh berkurangnya input pencemar organik dari aktivitas antropogenik, bukan oleh perubahan proses biologis di dalam air. Selain itu, vegetasi tepi sungai yang rimbun di sepanjang titik 4 berperan penting sebagai penyaring alami. Vegetasi tepi sungai diketahui mampu menahan sebagian limpasan permukaan, menyerap sebagian bahan organik, serta memperlambat aliran air dari lahan menuju sungai. Dengan demikian, jumlah bahan organik yang masuk ke badan air menjadi lebih kecil meskipun sungai memiliki arus deras. Lebar sungai yang lebih sempit pada titik ini juga memengaruhi dinamika pencampuran. Arus sebesar 0,79 m/s memang dapat memicu resuspensi bahan organik dari dasar sungai, namun karena input pencemar baru relatif rendah, turbulensi tersebut tidak cukup besar untuk meningkatkan nilai BOD. Kondisi ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Prasetyo & Hayati (2020) bahwa lokasi dengan vegetasi riparian yang kuat menunjukkan kualitas air yang baik, meskipun data menunjukkan arus dan debit air relatif tinggi, hal ini dapat disebabkan oleh peran vegetasi dalam menjaga stabilitas parameter ekosistem. Sementara itu, parameter Cr sedikit meningkat dari 0,0046 mg/L menjadi 0,0049 mg/L, yang kemungkinan besar disebabkan oleh turbulensi lokal akibat sungai yang berbatu. Arus deras yang memantul pada permukaan batuan dapat mengangkat kembali partikel sedimen halus yang sebelumnya mengikat Cr, sehingga konsentrasi Cr terlarut bertambah sedikit di titik ini.

Pada titik 5, pola perubahan Cr dan BOD mulai menunjukkan perbedaan karakter dibanding titik sebelumnya. Berdasarkan peta penggunaan lahan, area titik 5 didominasi kebun yang langsung berbatasan dengan sungai, kemudian diikuti permukiman di belakangnya. Hasil observasi lapangan memperlihatkan bahwa sungai di titik ini lebih lebar, arusnya stabil (1,00 m/s), vegetasi di tepi sungai rimbun, dan lokasi ini dekat dengan pos pantau air yang sering dilewati masyarakat. Nilai Cr meningkat menjadi 0,0063 mg/L, naik dari titik sebelumnya. Kenaikan ini tidak berkaitan dengan limbah domestik, karena tidak ditemukan aktivitas pembuangan langsung ke sungai. Peningkatan Cr lebih dipengaruhi oleh pergerakan sedimen halus dari hulu. Sungai yang lebih lebar dan arus yang stabil membuat partikel halus seperti lempung atau bahan organik kecil tetap tersuspensi di air. Partikel halus ini mudah mengikat ion Cr, sehingga konsentrasi Cr terukur menjadi sedikit naik. Vegetasi yang rapat juga dapat menahan sebagian sedimen di tepian, lalu partikel tersebut kembali terbawa aliran ketika arus stabil mendorong pengadukan ringan di sekitar permukaan air. Berbeda dengan Cr, nilai BOD justru turun cukup banyak menjadi 6,11 mg/L, setelah sebelumnya mencapai 9,15 mg/L pada titik 4. Penurunan ini menunjukkan bahwa beban bahan organik di titik 5 lebih rendah. Hal ini sejalan dengan kondisi lapangan dimana meskipun dekat dengan permukiman, tidak ditemukan tanda adanya buangan limbah domestik. Selain itu, vegetasi riparian yang rimbun membantu menyaring limpasan permukaan sebelum mencapai sungai. Sungai yang melebar di titik ini juga memperkuat proses pengenceran alami, sehingga bahan organik yang terbawa dari hulu konsentrasinya semakin berkurang. Secara keseluruhan, titik 5 menggambarkan segmen sungai yang memiliki tekanan pencemar organik lebih rendah, tetapi tetap menerima partikel halus dari aliran hulu yang dapat meningkatkan nilai Cr. Perbedaan arah perubahan antara Cr dan BOD pada titik ini menunjukkan bahwa kedua parameter tersebut dipengaruhi oleh faktor lingkungan yang berbeda dimana Cr lebih dipengaruhi oleh transport sedimen, sedangkan BOD lebih ditentukan oleh keberadaan sumber bahan organik dan kemampuan pengenceran sungai.

Pada titik 6, nilai Cr dan BOD kembali mengalami kenaikan setelah sebelumnya menurun pada titik 5. Berdasarkan peta penggunaan lahan, titik ini berada di wilayah kebun, lalu semakin menjauh dari sungai terdapat area sawah yang cukup luas, dan barulah muncul zona permukiman. Kondisi visual menunjukkan bahwa sungai pada titik ini lebih lebar, terdapat banyak sampah permukaan, dan arusnya berada pada 0,94 m/s, sehingga aliran masih cukup stabil. Nilai Cr meningkat menjadi 0,0073 mg/L, naik dari 0,0063 mg/L pada titik sebelumnya. Kenaikan ini tidak berkaitan dengan limbah domestik, karena permukiman berada cukup jauh dari tepi sungai. Peningkatan Cr lebih dipengaruhi oleh sedimen halus yang terbawa dari area sawah dan kebun, terutama ketika terjadi limpasan air hujan atau aliran permukaan. Partikel tanah dari sawah biasanya kaya mineral halus yang mudah mengikat ion Cr. Selain itu, arus yang mendekati 1 m/s dapat menyebabkan pengadukan dasar sungai (resuspensi) sehingga partikel yang mengandung Cr kembali naik ke kolom air. Keberadaan sampah permukaan juga dapat menahan sedimen di suatu titik, lalu melepaskannya kembali saat arus menguat, sehingga nilai Cr dapat sedikit meningkat. Untuk parameter BOD, nilai pada titik ini meningkat menjadi 7,42 mg/L, dari sebelumnya 6,11 mg/L. Peningkatan ini bersifat moderat dan tidak sekuat peningkatan yang terjadi di segmen hulu. Hal ini menunjukkan bahwa ada tambahan bahan organik dalam jumlah kecil, kemungkinan berasal dari runoff sawah dan material organik dari kebun, seperti daun atau ranting yang jatuh ke sungai. Namun karena tidak ada sumber pencemar organik besar seperti RPH atau pemukiman padat yang langsung berbatasan dengan sungai, kenaikan BOD pada titik 6 tidak terlalu signifikan. Sungai yang lebih lebar juga membantu proses

pengenceran, sehingga lonjakan BOD tetap terbatas. Secara umum, titik 6 menggambarkan segmen sungai dengan pengaruh campuran antara aktivitas pertanian dan dinamika sedimen, sehingga Cr cenderung meningkat karena transport partikel, sementara BOD naik ringan akibat masukan organik alami ([Ardian.2022](#)).

Titik 7 merupakan lokasi dengan nilai Cr tertinggi di sepanjang penelitian, yaitu 0,0076 mg/L, dan nilai BOD juga naik menjadi 7,58 mg/L. Berdasarkan peta penggunaan lahan, titik ini berada pada area kebun, dilanjutkan potongan kecil sawah, lalu permukiman padat di bagian atas tebing. Namun lokasi sungainya sendiri berada di bawah tebing curam, membuat titik ini jarang dijangkau manusia. Vegetasi riparian cukup rimbun, sedangkan lebar sungai di titik ini sangat kecil (kurang dari 5 meter). Kecepatan arus tercatat 0,92 m/s. Nilai Cr yang mencapai puncak pada titik 7 dipengaruhi oleh beberapa faktor. Pertama, kondisi sungai yang sempit membuat aliran menjadi lebih terfokus sehingga pengadukan aliran (turbulensi) lebih kuat, meskipun kecepatannya tidak setinggi titik 10. Turbulensi ini dapat memicu resuspensi sedimen, yang mengangkat kembali partikel halus pengikat Cr ke dalam kolom air. Kedua, keberadaan sawah dan kebun di bagian atas tebing memungkinkan adanya limpasan yang membawa material tanah ke sungai, terutama saat curah hujan tinggi. Ketiga, karena lokasi sungai berada di bawah tebing, terdapat kemungkinan rembesan air permukaan dari area permukiman di bagian atas lereng, meskipun skalanya kecil. Hal ini dapat berkontribusi pada peningkatan unsur anorganik, termasuk Cr, di segmen ini. Untuk parameter BOD, peningkatan menjadi 7,58 mg/L menunjukkan bahwa terdapat tambahan bahan organik ringan. Meskipun titik 7 jauh dari pemukiman langsung, bahan organik dapat masuk melalui runoff sawah, guguran daun dari vegetasi riparian, dan akumulasi bahan organik dari aliran hulu. Selain itu, karena sungainya sangat sempit, kapasitas pengenceran lebih rendah, sehingga sedikit saja masukan bahan organik dapat menyebabkan kenaikan BOD. Vegetasi yang rimbun juga dapat memperlambat aliran lokal dan menahan bahan organik pada tepian, yang kemudian terurai secara perlahan dan memengaruhi nilai BOD. Dengan demikian, titik 7 merupakan segmen sungai yang menunjukkan kombinasi pengaruh morfologi sungai yang ekstrem (sempit dan berada di bawah tebing), runoff dari lahan pertanian, dan resuspensi sedimen, sehingga menyebabkan nilai Cr mencapai puncak dan nilai BOD ikut meningkat ([Burrough & Mcdonnell, 1998](#)).

Pada titik 8, baik parameter Cr maupun BOD menunjukkan penurunan dibandingkan titik sebelumnya. Nilai Cr turun menjadi 0,0041 mg/L, sedangkan BOD turun menjadi 6,09 mg/L. Berdasarkan peta penggunaan lahan, titik ini berada pada zona kebun, kemudian diikuti oleh area sawah yang cukup luas, dan barulah muncul permukiman yang letaknya relatif jauh dari tepi sungai. Kondisi lapangan menunjukkan bahwa morfologi sungai di titik ini masih sempit, dikelilingi tebing yang cukup curam, dengan dominasi batuan keras pada sisi sungai. Arus berada pada 0,92 m/s, hampir sama dengan titik 7, namun alur sungainya lebih lurus dan minim hambatan. Penurunan Cr pada titik ini menjadi 0,0041 mg/L berkaitan erat dengan morfologi sungai dan dinamika sedimen. Sungai yang sempit dan berbatu cenderung memiliki dasar yang stabil dan sedikit sedimen halus yang dapat teraduk kembali. Karena Cr khususnya Cr(III) lebih mudah teradsorpsi pada sedimen berukuran halus, kondisi dasar sungai yang didominasi batuan menyebabkan proses resuspensi partikel sangat terbatas, sehingga konsentrasi Cr terlarut secara alami menurun. vegetasi lebat di kedua sisi sungai juga bertindak sebagai penyaring limpasan, mengurangi masuknya partikel tanah dari kebun maupun sawah ke badan air. Selain itu, aktivitas manusia yang sangat minim membuat tidak ada tambahan input Cr dari sumber domestik. Kombinasi ketiga faktor ini membuat nilai Cr pada titik 8 melandai kembali dari puncaknya di titik 7. Penurunan BOD menjadi 6,09 mg/L mencerminkan berkurangnya input bahan organik dari

aktivitas penduduk maupun limpasan pertanian. Sawah yang lebih jauh dari aliran langsung dan keberadaan vegetasi rapat di tepi sungai berperan sebagai zona buffer alami sehingga hanya sedikit material organik yang masuk ke sungai. Selain itu, dengan arus yang stabil dan jalur aliran yang relatif lurus, proses self-purification (pengenceran dan aerasi alami) dapat berlangsung lebih efektif dibandingkan titik sebelumnya. Tidak adanya aktivitas domestik atau limbah organik besar seperti RPH di sekitar titik ini juga menjelaskan mengapa BOD menurun cukup signifikan. Secara keseluruhan, titik 8 menggambarkan segmen sungai yang lebih terlindungi secara alami oleh vegetasi riparian, tebing curam, dan morfologi berbatu. Kondisi ini menekan masuknya bahan organik maupun partikel pembawa logam berat, sehingga baik Cr maupun BOD mengalami penurunan yang konsisten.

Pada titik 9, pola kualitas air kembali mengalami perubahan yang cukup jelas jika dibandingkan dengan titik sebelumnya. Nilai Cr menurun sedikit dari 0,0041 mg/L di titik 8 menjadi 0,004 mg/L di titik 9. Penurunan ini sejalan dengan kondisi fisik sungai yang mulai melebar, vegetasi tepi yang tidak terlalu rapat, serta arus yang lebih tenang dengan kecepatan 0,67 m/s. Aliran yang lebih lambat memberi kesempatan lebih besar bagi partikel halus dan bahan organik tersuspensi untuk mengendap di dasar atau tepian sungai. Mengingat Cr cenderung teradsorpsi pada partikel sedimen dan fraksi organik, situasi seperti ini mendorong lebih banyak ion Cr keluar dari kolom air dan berpindah ke fase sedimen sehingga konsentrasi Cr terlarut yang terukur menjadi sedikit lebih rendah dibanding titik hulu dekat sumber pencemar. Berbeda dengan Cr, nilai BOD di titik T9 justru meningkat dari 6,09 mg/L pada titik 8 menjadi 7,00 mg/L. Secara penggunaan lahan, area sekitar titik 9 didominasi kebun dan semak belukar dengan tepi sungai yang lebih terbuka. Kondisi ini membuat akses ke badan air relatif lebih mudah, sehingga peluang masuknya bahan organik dari guguran daun, serasah, serta potensi aktivitas manusia skala kecil (seperti pembuangan sampah atau limbah domestik ringan) tetap ada. Arus yang lebih tenang menyebabkan proses pembilasan menjadi kurang efektif sehingga sebagian bahan organik dapat bertahan lebih lama di kolom air dan meningkatkan kebutuhan oksigen terlarut yang tercermin pada nilai BOD. Meskipun demikian, nilainya masih lebih rendah dibanding puncak BOD di segmen tengah sungai, sehingga kenaikan di titik 9 dapat dipahami sebagai akumulasi masukan organik dari penggunaan lahan kebun dan semak belukar yang tidak lagi sepenuhnya terkompensasi oleh proses pengenceran alami dan self-purification di bagian hilir.

Pada titik 10, baik parameter Cr maupun BOD mengalami penurunan dibandingkan titik sebelumnya. Nilai Cr turun menjadi 0,0033 mg/L, dan nilai BOD menurun menjadi 6,73 mg/L. Berdasarkan peta penggunaan lahan, area sekitar titik ini didominasi oleh kebun dan ladang, tanpa permukiman yang berada langsung di tepi sungai. Kondisi ini menyebabkan masukan limbah domestik ke badan air semakin kecil. Hasil observasi lapangan menunjukkan bahwa sungai sangat lebar, vegetasi di tepi sungai lebih terbuka, dan aliran air memiliki kecepatan tertinggi dari seluruh titik pengamatan, yaitu 1,68 m/s. Karakter aliran seperti ini membuat proses pengenceran berlangsung lebih cepat sehingga polutan terlarut seperti Cr cenderung terbawa ke hilir dan konsentrasinya berkurang pada titik pengukuran. Faktor ini sejalan dengan penurunan nilai Cr dari titik-titik sebelumnya. Untuk parameter BOD, penurunan menjadi 6,73 mg/L menunjukkan bahwa beban bahan organik di segmen ini tidak sebesar titik-titik pada bagian tengah sungai. Hal ini sejalan dengan penggunaan lahan yang didominasi kebun dan ladang, di mana limpasan yang dihasilkan tidak setinggi limpasan domestik atau limbah dari aktivitas RPH yang memengaruhi titik 2 dan titik 3. Selain itu, arus yang sangat deras dan alur sungai yang lebih terbuka membantu proses pengenceran bahan organik di kolom air sehingga BOD yang terukur menjadi lebih rendah.

Namun, nilai DO justru turun menjadi 1,63 mg/L lebih rendah dibanding titik 9 (1,81 mg/L) dan titik 8 (1,85 mg/L). Meskipun aliran air sangat cepat, DO tidak hanya dipengaruhi oleh arus tetapi juga oleh laju konsumsi oksigen di dalam air. Pada segmen ini terlihat cukup banyak sampah domestik yang terperangkap di tepian sungai meskipun menurut keterangan warga sampah tersebut adalah kiriman dari hulu bukan berasal dari aktivitas masyarakat sekitar titik 10. Sampah-sampah ini tetap dapat mengalami proses dekomposisi yang membutuhkan oksigen sehingga konsumsi oksigen meningkat dan nilai DO turun. Selain itu, aliran yang sangat cepat seringkali membawa bahan organik halus dari titik-titik sebelumnya sehingga meskipun beban organik lokal kecil proses pemanfaatan oksigen oleh mikroorganisme tetap berlangsung. Secara keseluruhan, titik 10 menggambarkan segmen sungai yang mulai memasuki bagian hilir dengan tekanan pencemar lebih kecil, proses pengenceran lebih efektif, dan sumber limbah domestik yang semakin berkurang. Penurunan Cr dan BOD mencerminkan kondisi tersebut, sedangkan penurunan DO menunjukkan bahwa konsumsi oksigen di kolom air masih cukup tinggi akibat akumulasi bahan organik kiriman dari hulu

Secara keseluruhan, analisis spasial menunjukkan bahwa variasi kualitas air sepanjang Sungai Brantas Segmen Mergosono-Kendalpayak dipengaruhi oleh kombinasi penggunaan lahan, dinamika arus, morfologi sungai, serta aktivitas domestik dan industri di sekitar lokasi penelitian. Cr lebih banyak dipengaruhi oleh resuspensi sedimen, variasi arus, dan limpasan pertanian. Untuk BOD sangat sensitif terhadap masukan bahan organik seperti limbah domestik dan limbah RPH. Interaksi faktor-faktor tersebut menciptakan pola fluktuasi yang berbeda pada tiap titik pengamatan. Hasil ini mempertegas pentingnya pengelolaan ruang dan aktivitas di sepanjang aliran sungai dalam menjaga kualitas air secara menyeluruh.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dipaparkan, dapat disimpulkan bahwa limbah industri penyamakan kulit memberikan kontribusi signifikan terhadap pencemaran kualitas air Sungai Brantas, khususnya pada parameter BOD yang menunjukkan nilai jauh di atas baku mutu. Sementara itu, parameter Cr yang terukur rendah diduga tidak mencerminkan nilai aktual karena kemungkinan besar mengalami sedimentasi, sehingga konsentrasi sebenarnya berpotensi lebih tinggi dari hasil yang terdeteksi. Kondisi ini diperkuat oleh temuan konsentrasi tertinggi yang terletak tepat setelah titik buangan limbah. Selain itu, proses self purification alami Sungai Brantas terpantau terjadi secara bertahap sepanjang segmen Mergosono hingga Kendalpayak, ditandai oleh tren penurunan nilai BOD dan Cr dari hulu ke hilir. Namun, proses purifikasi ini belum cukup efektif untuk mengembalikan kualitas air ke kondisi sesuai baku mutu, terutama pada parameter BOD. Hal ini menunjukkan bahwa kapasitas pemulihan alami sungai belum mampu mengimbangi besarnya beban pencemar yang masuk secara terus-menerus ([Ardian.2022](#)).

Keterbatasan Penelitian Dan Rekomendasi

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam pengembangan riset selanjutnya. Pengambilan sampel hanya dilakukan pada tali air dan ± 50 cm dari permukaan tanpa mencakup sedimen, padahal logam berat seperti kromium cenderung mengendap dan terakumulasi di dasar sungai. Selain itu, waktu pengambilan sampel dilakukan pagi hari, sedangkan pembuangan limbah industri terjadi malam hari, sehingga terdapat jeda waktu ± 8 jam yang memungkinkan adanya penurunan konsentrasi akibat peluruhan alami. Parameter utama yang diuji juga terbatas hanya pada Cr dan BOD

karena keterbatasan biaya, padahal limbah penyamakan kulit mengandung berbagai zat pencemar lain seperti COD, TSS, amonia, dan sulfida. Oleh karena itu, disarankan agar penelitian selanjutnya mencakup pengambilan sampel sedimen, dilakukan dalam waktu yang lebih representatif terhadap aktivitas pembuangan limbah, serta melibatkan lebih banyak parameter pencemar agar evaluasi kualitas air dapat dilakukan secara lebih menyeluruh dan akurat.

REFERENSI

- Ahmad Iqbal Addzikri, & Firra Rosariawari. (2023). Analisis Kualitas Air Permukaan Sungai Brantas Berdasarkan Parameter Fisik Dan Kimia. *INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 2(3), 550–560. <https://doi.org/10.55123/Insologi.V2i3.1981>
- Ardian, J. (2022). Hubungan Tingkat Konsentrasi Pencemar Kromium Dalam Air Dan Sedimen Dengan Struktur Komunitas Moluska Sungai Opak Bagian Hilir Kabupaten Bantul Skripsi Hubungan Tingkat Konsentrasi Pencemar Kromium Dalam Air Dan Sedimen Dengan Struktur Komunitas Moluska Sungai Opak Bagian Hilir Kabupaten Bantul.
- Asrini, K., Sandi Adnyana, I. W., & Rai, I. N. (2017). Studi Analisis Kualitas Air Di Daerah Aliran Sungai Pakerisan Provinsi Bali. *ECOTROPHIC: Jurnal Ilmu Lingkungan (Journal Of Environmental Science)*, 11(2), 101. <https://doi.org/10.24843/Ejes.2017.V11.I02.P01>
- Bhargavi, N. R. G., Jayakumar, G. C., Sreeram, K. J., Rao, J. R., & Nair, B. U. (2015). Towards Sustainable Leather Production: Vegetable Tanning IN Non-Aqueous Medium. 110, 97–102.
- Burrough, P. A., & Mcdonnell, R. A. (1998). *Principles Of Geographical Information Systems*.
- Chapra, S. C., Camacho, L. A., & McBride, G. B. (2021). Impact Of Global Warming On Dissolved Oxygen And Bod Assimilative Capacity Of The World's Rivers: Modeling Analysis. *Water (Switzerland)*, 13(17). <https://doi.org/10.3390/W13172408>
- Dr. Jonni Mardizal, M. ., Prof. Dr. Fahmi Rizal, M.T, M. P., & Prof. Dr. Nurhasan Syah, M. P. (2021). *Manajemen Kualitas Air*.
- Ekarini, F. D. (2021). Analisis Kualitas Air Tanah Terhadap Keberadaan Ipal Komunal Dengan Metode Inverse Distance Weighting (Idw) Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Keberadaan Ipal Komunal Dengan Metode Inverse Distance Weighting (I.
- Fitriana, F., Yudianto, D., & Seo, Y. C. (2023). Estimasi Rasio BOD5/COD Dan Faktor Dilusi Sungai Citarum Hulu. August.
- Hendriarianti, E., Sudiro, S., Kustamar, K., & Nurhayati, A. (2019). Self-Purification Performance Of Brantas River From Deoxygenation Rate Of Carbon. *Journal Of Physics: Conference Series*, 1375(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1375/1/012044>
- Jati, E. D., Murti, S. H., Susilo, B., Amru, K., & Ningrum, M. H. (2022). Analisis Kadar Logam Berat Kromium (Cr) Dalam Air Dan Ikan Akibat Pembuangan Limbah Industri Penyamakan Kulit Di Sungai Opak , Piyungan , Bantul ., 91–99.
- Juliyasri, I., Melia, S., Novia, D., & Purwati, E. (2019). Kulit Ilmu, Teknologi, & Aplikasi. 1–225.
- Kurniawan, A., Egon, A., Sujatmiko, K. A., & Malakani, A. I. (2022). Hydrodynamic Modelling Of Tidally-Influenced Fluvial Zone , A Study Case Of Palembang , Indonesia. 27(March), 83–92. <https://doi.org/10.14710/Ik.Ijms.27.1.83-92>
- Kurniawan, A., & Mulyanto, D. (2023). Sortasi Logam Berat Kromium Heksavalen Pada Perairan Dan Tanah Di Lingkungan Industri Penyamakan Kulit Banyakkan Kapanewon Piyungan Bantul. *Jurnaltanahdanair*, 20, 1–14.
- Kurniawan, A., Salamah, L. N., & Jayati, P. D. (2019). Analisis Pencemaran Cr(Vi) Di Sungai Badek, Kota Malang Dengan Menggunakan Biofilm. *Ecotrophic : Jurnal Ilmu Lingkungan (Journal Of Environmental Science)*, 13(1), 11. <https://doi.org/10.24843/Ejes.2019.V13.I01.P02>
- Lusiana, N., Widiatmono, B. R., & Luthfiyana, H. (2020). Beban Pencemaran BOD Dan Karakteristik Oksigen Terlarut Di Sungai Brantas Kota Malang. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 18(2), 354–366. <https://doi.org/10.14710/Jil.18.2.354-366>

- Ma'dika, G. A., Rahardjo, D., & Kisworo. (2021). Hubungan Profil Cemar Kromium Dengan Struktur Komunitas Moluska Di Sungai Opak. *Biospecies*, 14(1), 67–74.
- Maryudi, Rahayu, A., Syauqi, R., & Islami, M. K. (2021). Teknologi Pengolahan Kandungan Kromium Dalam Limbah Penyamakan Kulit Menggunakan Proses Adsorpsi: Review. *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan*, 5(1), 90–99. <https://doi.org/10.33795/Jtkl.V5i1.207>
- Meirinna, Fahrurrozi, & Santosa, S. J. (2013). Penyamakan Kulit Dengan Kombinasi Presipitasi. *ASEAN Journal Of System Engineering*, 1(2), 62–67.
- Mohammed, A. J. (2016). Evaluation Of Heavy Metals With Some Physiochemical And Biological Parameters For Ground Water In South Of Najaf City, Iraq. *World Journal Of Pharmaceutical Research*, 5(2), 129–138.
- Napitupulu, R. T., & Putra, M. H. S. (2024). Pengaruh Bod, Cod Dan Do Terhadap Lingkungan Dalam Penentuan Kualitas Air Bersih Di Sungai Pesanggrahan. *Civeng: Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 5(2), 79. <https://doi.org/10.30595/Civeng.V5i2.17878>
- Prakoso, L. J. (2019). Studi Penentuan Waktu Dan Jarak Tempuh Alami Sungai Brantas Akibat Limbah Rumah Potong Hewan Gadang Kota Malang.
- Prasetya, V. N., Susanawati, L. D., Widiatmono, B. R., & Sumberdaya, J. (2015). Jurnal Sumberdaya Alam Dan Lingkungan Penentuan Daya Tampung Sungai Badek Terhadap Beban Pencemar Akibat Limbah Cair Penyamakan Kulit Di Kelurahan Ciptomulyo , Malang River Capacity Determination From Tannery Liquid Waste Of Badek River In Ciptomulyo Coun. 17–24.
- Prasetyo, H. D., & Hayati, A. (2020). Pengaruh Gangguan Pada Zona Riparian Terhadap Jasa Layanan Ekosistem Hulu Sungai Brantas. *Journal Of Tropical Biology*, 8(2), 125–134.
- Rachmawati, I. P., Riani, E., & Riadi, A. (2020). Water Quality Status And Pollution Load Of Krukut River, Jakarta Province. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 10(2), 220–233. <https://doi.org/10.29244/jpsl.10.2.220-233>
- Saalidong, B. M., Aram, S. A., Otu, S., & Lartey, P. O. (2022). Examining The Dynamics Of The Relationship Between Water Ph And Other Water Quality Parameters In Ground And Surface Water Systems. *Plos ONE*, 17(1 1), 1–17. <https://doi.org/10.1371/Journal.Pone.0262117>
- Sigalingging, V. (2015). Analisis Kandungan Kromium (Cr) Pada Sedimen Sungai Badek Kelurahan Mergosono, Kecamatan Kedungkandang, Kota Malang. (Pp. 5–12).
- Sukoasih, A., & Widiyanto, T. (2017). Hubungan Antara Suhu, Ph Dan Berbagai Variasi Jarak Dengan Kadar Timbal (Pb) Pada Badan Air Sungai Rompang Dan Air Sumur Gali Industri Batik Sokaraja Tengah Tahun 2016. *Buletin Keslingmas*, 36(4), 360–368. <https://doi.org/10.31983/Keslingmas.V36i4.3115>
- Suprabawati. (2023). Kaitan Sumber Pencemar Dengan Kualitas Air Sungai. *PT. Nas Media Indonesia*.
- Tama, F. H. W. (2014). Model Matematis Perubahan Kualitas Air Sungai (Bod, Cod, Tss) Terhadap Jarak Di Daerah Aliran Sungai (Das) Brantas, Jawa Timur Fasih Huda Wira Tama.
- Tirza, P., Sembada, S., & Tr, S. T. (2017). Petunjuk Teknis Restorasi Kualitas Air Sungai. 021, 1–106.
- Whitten, T., Soeriaatmadja, R. E., & Afiff, S. A. (1996). *The Ecology Of Java And Bali (Volume II)*. Periplus Editions (HK) Ltd.
- Wijaya, Y. N., & Potalangib, J. G. (2024). Kualitas Air Sungai Di Sulawesi Utara : Systematic Literature Review. 22(90).
- Wu, J., Gao, Y., Zhang, J., Wang, Y., & Chen, W. (2018). Chrome Complexes In Rewetting And Neutralizing Effluents And Hints For Recycling Post-Tanning Wet-Process Effluent. 27(3), 1315–1321. <https://doi.org/10.15244/Pjoes/77032>
- ZEKÂI SEN. (2014). *Practical And Applied*.

Copyright holder :

© Penulis 1 2 dan 3 dengan model APA

First publication right:

Jurnal Of Geography Education

This article is licensed under:

