

Analisis Kadar Logam Berat Kromium (Cr) dalam Air dan Ikan Akibat Pembuangan Limbah Industri Penyamakan Kulit di Sungai Opak, Piyungan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta

Erwika Dora Jati¹⁾, Sigit Heru Murti²⁾, Bowo Susilo³⁾, Khaerul Amru⁴⁾, Mutia Herni Ningrum⁵⁾, and Said Fahmi⁶⁾

¹⁾ Universitas Pelita Bangsa

²⁾ Universitas Gadjah Mada/Program Magister Pengelolaan Lingkungan

³⁾ Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)/Pusat Riset Lingkungan dan Teknologi Bersih

⁴⁾ Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)/Pusat Riset Biomassa dan Bioproduk

⁵⁾ Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)/Pusat Riset Ekologi dan Etnobiologi

^{a)}Corresponding author: Said003@brin.go.id

^{b)}saidfahmi88@gmail.com

ABSTRAK

Sungai Opak merupakan sungai besar di Yogyakarta yang melintasi banyak kawasan industri salah satunya adalah kawasan industri Piyungan. Sejak tahun 2012, jumlah industri Piyungan yang menggunakan logam berat semakin meningkat terutama industri penyamakan kulit. Hal ini, berdampak langsung terhadap Sungai Opak sebagai tempat pembuangan air limbah. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur kadar kromium (Cr) di dalam air dan ikan pada Sungai Opak. Pengambilan sampel didasarkan pada metode *purposive sampling*. Analisis kandungan logam kromium pada air dan ikan menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*). Lokasi pengambilan sampel ditentukan berdasarkan prioritas yang disusun berdasarkan jumlah dan jenis kegiatan serta distribusi sumber dan jenis pencemar. Parameter yang diukur terhadap 5 jenis titik pengambilan sampel meliputi kromium pada air dan kromium pada ikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan kromium pada ikan tidak melebihi baku mutu, sedangkan 2 dari 5 titik sampling air memiliki kandungan kromium sebesar sebesar 0,08 dan 0,55 mg/L yang melebihi baku mutu air.

Kata Kunci: Kromium (Cr); Limbah penyamakan kulit; Sungai Opak

ABSTRACT

The Opak River is a major river in Yogyakarta that traverses many industrial areas, one of which is the Piyungan industrial area. Since 2012, the number of industries in Piyungan using heavy metals, especially in the leather tanning industry, has been increasing. This directly affects the Opak River as a disposal site for industrial wastewater. This study aims to measure the chromium (Cr) levels in the water and fish of the Opak River. Sample collection is based on purposive sampling method. The analysis of chromium metal content in water and fish uses Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). The sampling locations are determined based on priorities set according to the quantity and type of activities, as well as the distribution of sources and types of pollutants. The measured parameters for the 5 sampling points include chromium in water and chromium in fish. The research results indicate that the concentration of chromium in fish does not exceed the quality standards, while 2 out of 5 water sampling points have chromium content of 0.08 and 0.55 mg/L, which exceeds the water quality standards.

Keywords: Chromium (Cr); Leather tanning wastewater; Opak River

PENDAHULUAN

Sungai Opak termasuk salah satu sungai besar yang ada di Yogyakarta sehingga sering digunakan sebagai tempat buangan limbah akhir baik dari limbah domestik, limbah pertanian maupun limbah industri. Aliran Sungai Opak melintasi banyak kawasan industri salah satunya adalah kawasan industri piyungan yang sebagian besar pabriknya berupa industri penyamakan kulit. Limbah industri berpotensi mencemari lingkungan apabila tidak dikelola dengan tepat. Pembuangan limbah pada industri penyamakan kulit di Piyungan menggunakan pipa-pipa yang dilewatkan melalui parit dan aliran drainase pada area pemukiman. (Kuncoro & Eddy Setiadi Soedjono, 2022) menyatakan limbah cair dari industri penyamakan kulit tersebut mengakibatkan perubahan kondisi lingkungan perairan yang berdampak pada kehidupan manusia dan biota air.

Salah satu dampak pencemaran di Sungai Opak oleh limbah pengolahan kulit dan rembesan dari tempat pembuangan akhir (TPA) yang mengakibatkan matinya ikan-ikan di sungai tersebut. Kematian ikan-ikan yang mendadak ini disebabkan dari selokan pembuangan limbah ke Sungai Opak. Hal tersebut dikarenakan adanya limbah logam berat yang melebihi baku mutu atau sesuai meningkatnya konsentrasi pencemar yang terlalu tinggi (Natalia, 2017). Tinggi rendahnya konsentrasi logam berat di perairan, disebabkan oleh banyaknya jumlah masukan limbah logam berat ke perairan tersebut. Semakin besar limbah masuk ke dalam suatu perairan, semakin besar konsentrasi logam berat di perairan (Harahap et al., 2020).

Air limbah yang dihasilkan dari industri penyamakan kulit termasuk dalam golongan beracun dan berbahaya karena mengandung zat kimia yang toksik dan karsinogenik seperti sulfida, amonia, dan kromium (Kuncoro & Eddy Setiadi Soedjono, 2022; Wahyu Nugraha et al., 2018). Salah satu zat tersebut yaitu logam Kromium (Cr) merupakan logam berat. Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 101 Tahun 2014 logam Kromium (Cr) termasuk dalam limbah B3 dengan toksisitas sedang. Logam kromium sulit mengalami degradasi dalam lingkungan perairan sehingga berpotensi terakumulasi dalam tubuh organisme akuatik (Kadim & Risjani, 2022). Penelitian serupa yang dilakukan Rahardjo & Prasetyaningsih (2021) menunjukkan bahwa kromium dari pembuangan limbah cair industri penyamakan kulit di Desa Banyakan merupakan sumber utama Kromium terdistribusi ke dalam air sungai (0,067 mg/L/kg), sedimen (4,623 mg/L/kg), tanah sawah (0,260 mg/L/kg), air sumur (0,0004 mg/L/kg), moluska (1,065 mg/L/kg), ikan (0,6144 mg/L/kg), dan padi (2,4817 mg/L/kg).

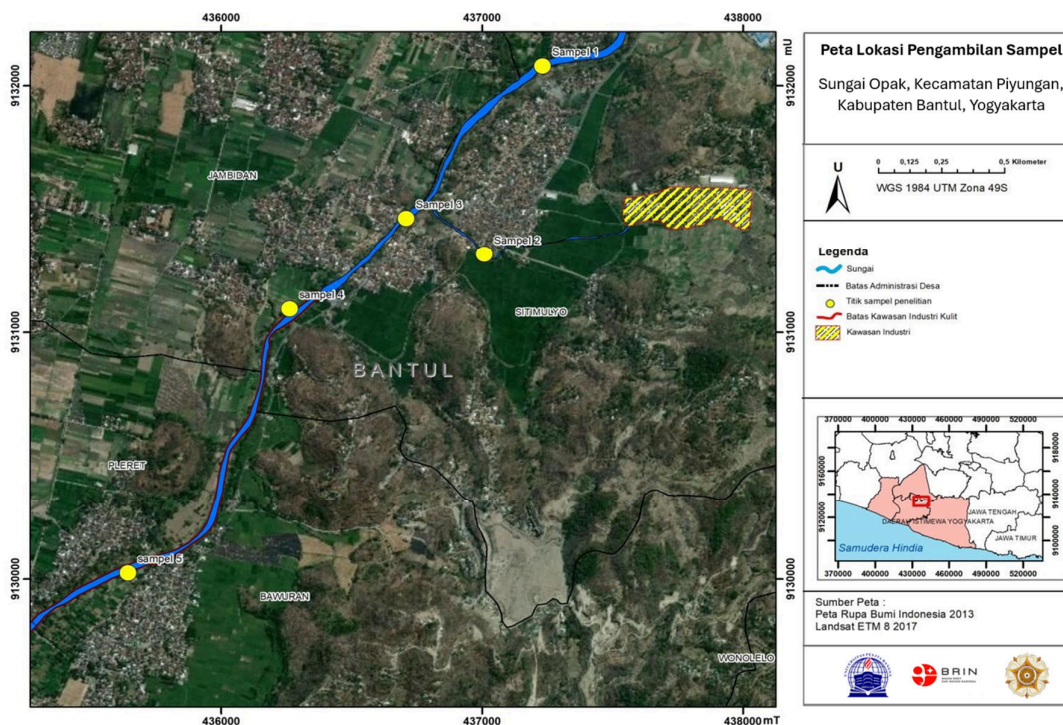
Sriyono (2019) melakukan pengujian dampak kromium terhadap ikan nila. Hasil penelitian tidak menunjukkan adanya tingkat mortalitas yang tinggi pada ikan nila, akan tetapi menunjukkan bahwa kromium menyebabkan ikan menjadi lebih aktif serta mengalami perubahan fisiologi melalui kerusakan pernafasan. (Prasetyo et al., 2023) menyatakan bahwa gangguan pernafasan disebabkan karena adanya *hyperplasia* dan *fusi lamella* pada insang ikan akibat perubahan jaringan akibat masuknya logam kromium secara terus menerus pada insang ikan. Fakta didukung dengan penelitian Azis et al. (2018) menyatakan bahwa limbah logam kromium pada sungai menimbulkan akumulasi pada insang, hati, dan daging ikan gabus, hampal, dan sapu pada tingkat rendah hingga sedang.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa limbah kromium berpotensi merusak kualitas air dan hewan air seperti ikan. Konsentrasi kromium pada ikan dapat menjadi indikator tingkat kerusakan ekosistem air pada aspek biotik. Untuk itu diperlukan penelitian tentang analisis kadar kromium pada badan air dan ikan akibat pembuangan limbah industri penyamakan kulit di Sungai Opak, Kecamatan Piyungan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kadar kromium pada air dan ikan akibat pembuangan limbah industri penyamakan kulit serta menyusun strategi pengelolaan yang sesuai untuk mengatasi permasalahan yang timbul akibat pembuangan limbah industri penyamakan kulit di Sungai Opak, Kecamatan Piyungan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta.

METODE

Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di wilayah perairan Sungai Opak yang melalui kawasan industri penyamakan kulit. Industri ini sebagian besar terletak di Desa Sitimulyo, Kecamatan Piyungan, Kabupaten Bantul. Sungai Opak merupakan sungai yang terletak di Daerah Istimewa Yogyakarta dengan hulu sungai di Kecamatan Cangkringan, Kabupaten Sleman dan bermuara di Kecamatan Sanden, Kabupaten Bantul. Peta lokasi penelitian dan titik sampling pengambilan air dan ikan disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Lokasi pengambilan sampel ditentukan berdasarkan prioritas yang disusun berdasarkan jumlah dan jenis kegiatan serta distribusi sumber dan jenis pencemar. Lokasi pengambilan sampel dibagi dalam 5 titik antara lain :

- a. Sampel 1 diambil di lokasi sebelum kawasan industri penyamakan kulit. Sampel 1 berfungsi sebagai kontrol yang diasumsikan belum terpengaruh aktivitas industri penyamakan kulit.
- b. Sampel 2 berfungsi sebagai titik pertama pembuangan limbah dilakukan.
- c. Sampel 3 diambil di Sungai Opak yang diasumsikan paling dekat dengan saluran buangan limbah pabrik.
- d. Sampel 4 diambil di Sungai Opak yang diasumsikan distribusi pencemaran dari industri telah berkurang.
- e. Sampel 5 diambil di Sungai Opak diasumsikan bahwa daerah ini sudah bersih dari pencemaran limbah industri.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah GPS, botol, *cooler box*, instrumen AAS (*Atomic Absorption Spectrometry*), *cutter*, alat tulis, dan kamera. Sementara bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel air Sungai Opak dan sampel ikan.

Pengumpulan Data

Penentuan sampel penelitian menggunakan metode *Purposive Sampling* yaitu dengan memilih objek yang mewakili dan representatif terhadap informasi kondisi kualitas lingkungan berdasarkan kepentingan kejadian dan pertimbangan tertentu. Pertimbangan yang digunakan adalah lokasi yang belum terdampak limbah industri penyamakan kulit, lokasi sumber limbah, serta lokasi terdampak limbah industri penyamakan kulit. Pertimbangan tersebut didasarkan pada Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 01 Tahun 2010 Tentang Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air (2010)

Pengujian kadar kromium sebagai dampak aktivitas industri penyamakan kulit dilakukan pada dua aspek yaitu aspek fisik dan biotik. Aspek fisik yang diuji adalah air, sementara aspek biotik adalah ikan.

Pengambilan sampel air sungai memiliki beberapa syarat, yakni tidak adanya variasi tinggi muka air sungai jika dibandingkan dengan beberapa hari sebelumnya, pengambilan sampel air sungai tidak boleh diambil beberapa saat setelah hujan untuk menghindari terjadinya pengenceran air sungai, serta parameter air sungai yang akan diuji harus sesuai dengan parameter limbah yang menyebabkan terjadinya pencemaran sungai (Rahayu et al., 2018). Pengambilan sampel air pada setiap titik yang telah ditentukan dengan memasukkan air ke dalam botol hingga penuh, kemudian ditutup dan diangkat ke permukaan air. Sampel air kemudian disimpan dalam *coller box* dan dianalisis di laboratorium.

Pengambilan sampel ikan ditentukan secara *accidental sampling*, yaitu menguji ikan yang tertangkap pada saat pengambilan sampel air dilapangan. Ikan yang tertangkap disimpan dalam *cooler box* dan dibawa ke laboratorium. Pengujian dilakukan dengan cara mencuplik daging ikan yang akan diuji dan dianalisis.

Analisis Data

Sampel air dan ikan dianalisis menggunakan metode AAS (*Atomic Absorption Spectrometry*) yaitu alat yang digunakan untuk menentukan kadar suatu unsur dalam senyawa berdasarkan serapan atomnya. Metode ini merupakan metode yang digunakan untuk menganalisis logam berat pada suatu senyawa yang dicurigai terkontaminasi oleh logam berat. Hasil analisis pengujian sampel air dikomparasikan dengan baku mutu yang telah ditetapkan. Kadar kromium yang dihasilkan dari aktivitas industri penyamakan kulit memiliki standar baku mutu yang perlu dipatuhi. Hasil pengujian sampel air dan ikan terhadap cemaran kromium industri penyamakan kulit dibandingkan dengan baku mutu yang telah ditentukan seperti dalam **Tabel 2**.

Tabel 2. Baku Mutu logam Cr dalam air dan ikan

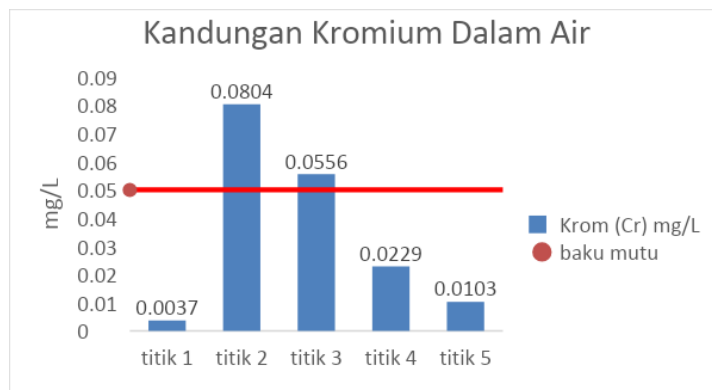
Baku Mutu Logam	Air (mg/L)	Ikan (mg/kg)
Kromium (Cr)	0,05	2,50

Sumber: Peraturan Badan Pengawas Obat Dan Makanan Nomor 9 Tahun 2022 Tentang Persyaratan Cemaran Logam Berat Dalam Pangan Olahan (2022)

HASIL DAN PEMBAHASAN

A) Analisis kadar logam Kromium (Cr) di Air

Senyawa kromium adalah salah satu jenis logam berat yang dihasilkan dari aktivitas industri penyamakan kulit dan berpotensi menimbulkan masalah pencemaran. Adanya pencemaran akibat logam kromium di perairan sungai dijadikan fokus dalam penelitian ini. Berdasarkan Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air standar maksimum logam berat yang keluar ke lingkungan perairan adalah sebesar 0,05 mg/L. Hasil penelitian analisis kandungan logam berat kromium (Cr) pada air menunjukkan nilai yang bervariasi pada setiap titik sampling. Hasil analisis kadar kromium (Cr) pada titik sampling dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Hasil analisis kadar Cr pada setiap titik sampling

Gambar 2 menunjukkan bahwa titik 2 dan titik 3 memiliki kadar kromium yang lebih tinggi dari baku mutu. Hal ini dikarenakan titik 2 merupakan titik buangan pertama limbah industri penyamakan kulit. Logam kromium (Cr) dalam limbah cair industri penyamakan kulit berasal dari proses penyamakan (*tanning*), dimana dalam proses ini logam krom yang digunakan lebih dari 50% tidak terserap oleh kulit dan akan terbuang menjadi limbah cair. Sementara pada titik 3 kandungan logam kromium di perairan Sungai Opak tetap melebihi baku mutu karena adanya kemungkinan belum terjadi purifikasi pada lokasi tersebut. Titik 1 merupakan titik kontrol dengan kadar kromium terendah hal tersebut menunjukkan bahwa industri penyamakan kulit memiliki limbah buangan yang mengandung kromium. Sementara pada titik 4 dan 5 memiliki kadar kromium yang lebih rendah dibandingkan titik 2 dan 3, hal tersebut menunjukkan bahwa telah terjadi pengenceran dan penyerapan kromium pada air sungai.

Sejalan dengan hasil tersebut penelitian yang dilakukan oleh (Ma'dika et al., 2021) menunjukkan bahwa konsentrasi kromium tertinggi berada di Desa Banyakan-Piyungan yaitu sebesar 0,067-0,975 mg/L atau melebihi baku mutu. Lokasi tersebut merupakan lokasi pertemuan limbah industri dan TPST Piyungan.

Kadar kromium pada air sungai dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti debit air, adsorben, jarak sumber cemaran, dan volume limbah buangan. Semakin besar debit yang masuk maka kadar bahan alam yang teralrut akan meningkat namun konsentrasi bahan antropogenik akan menurun sehingga konsentrasi logam berat tidak tertumpuk pada satu lokasi badan pengairan (Hanifah et al., 2019; Juharna et al., 2022). Perbedaan kadar kromium pada air sungai juga dipengaruhi oleh adanya adsorben alami pada sungai seperti biomassa tumbuhan dan biota air yang mampu menyerap senyawa dalam air. Hal tersebut dibuktikan dengan penelitian Dianty (2019) yang menyatakan bahwa adanya penyerapan kromium pada air oleh ikan, dibuktikan dengan adanya peningkatan kadar kromium pada daging ikan dan penurunan kadar kromium secara bersamaan. Limbah buangan industri harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke sungai, hal ini untuk mencegah terjadinya pencemaran dan penurunan kualitas air sungai. Semakin banyak limbah yang dibuang maka semakin tinggi kadar kromium pada air sungai, begitu pula dengan jarak pembuangan limbah. (Juharna et al., 2022) menyatakan bahwa semakin jauh dengan sumber buangan maka berpengaruh terhadap sebaran logam berat dikarenakan kondisi fisika seperti arus, gelombang, dan pasang surut. Daerah yang cenderung tenang maka sebaran logam berat cenderung berkumpul dalam satu lokasi.

Kromium merupakan zat pencemar yang apabila masuk ke lingkungan seperti sungai dan mencemari air maka semakin lama akan mencemari tanah dengan meresap ke dalam sumber air sumur warga, yang apabila dikonsumsi dapat mengakibatkan masalah kesehatan (Putri et al., 2022). Terutama dalam bentuk Cr (IV), logam kromium bersifat sangat beracun dan tergolong dalam logam berat limbah atau biasa disebut Limbah Bahan Beracun dan Berbahaya (B3). Keracunan kromium bagi manusia menimbulkan dampak kesehatan seperti ruam kulit, gangguan pencernaan, gangguan pernafasan, kerusakan hati dan ginjal, perubahan materi genetik, dan kanker (Dinas Kesehatan Gunungkidul, 2023).

Untuk itu pembuangan limbah industri penyamakan kulit harus mematuhi peraturan yang berlaku dan dikelola dengan bijak sehingga tidak menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan.

B) Analisis kadar logam Kromium (Cr) pada Ikan

Berdasarkan hasil observasi di lokasi penelitian dan wawancara dengan masyarakat sekitar, adanya aktivitas industri penyamakan kulit cukup memberikan pengaruh akan keberadaan ikan di perairan Sungai Opak. Menurut keterangan masyarakat sekitar jenis ikan yang dahulu berkembang biak banyak namun sudah jarang ditemui salah satunya adalah ikan nila. Berdasarkan informasi masyarakat sekitar, pernah terjadi kematian ikan-ikan secara mendadak di perairan Sungai Opak akibat buangan limbah industri penyamakan kulit yang tidak terkontrol. Hal ini menunjukkan bahwa adanya aktivitas industri penyamakan kulit tetap mempengaruhi biota air dan apabila tidak dilakukan pengendalian pencemaran akibat limbah, ditakutkan kandungan logam krom dalam ikan di Sungai Opak akan terakumulasi dan menjadi berbahaya.

Keracunan logam kromium pada ikan akan melalui sel darah maupun jaringan dan kerusakan ini mengakibatkan aktivasi jalur kematian sel pada organ ikan. (Kamila et al., 2023a). Beberapa jenis ikan masih tetap bertahan namun mengalami penurunan jumlah. Jenis-jenis ikan yang banyak dijumpai yakni seperti ikan mujair (*Oreochromis mossambicus*), ikan palung (*Hampala macrolepidota*), ikan tawes (*Barbonymus goniontus*), ikan wader (*Barbodes binotatus*), ikan gabus (*Channa striata*), sapu-sapu (*Hypostomus plecostomus*) dan ikan lele (*Clariidae*). Hasil analisis kandungan logam berat kromium (Cr) pada dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 4. Hasil Analisis Kadar Kromium dalam ikan

Titik Sampling	Krom (Cr) mg/L	Jenis Ikan	Baku Mutu
titik 1	-	-	2,50 mg/kg
titik 2	-	-	
titik 3	0,0379	ikan tawes (<i>Barbonymus goniontus</i>)	
titik 4	0,0158	ikan palung (<i>Hampala macrolepidota</i>)	
titik 5	-	-	

Tabel 2 menunjukkan bahwa pada 2 jenis ikan yang ditemukan masing-masing mengandung kromium dengan kadar yang masih memenuhi baku mutu, yaitu sebesar 0,0379 pada titik 3 dan 0,0158 pada titik 4. Sedikitnya sampel ikan yang ditemui pada saat pengambilan sampel dilapangan dikarenakan adanya penurunan populasi ikan akibat pencemaran limbah industri jangka panjang. Jika di dalam tubuh ikan telah terkandung kadar logam berat yang tinggi dan melebihi batas normal yang telah ditentukan dapat sebagai indikator terjadinya pencemaran dalam lingkungan (Jais et al., 2020). Pada lokasi 1 dan 5 tidak ditemukan sampel ikan yang sesuai dengan kriteria ukuran sampel. Sementara pada lokasi 2 tidak ditemukan ikan karena lokasi tersebut merupakan lokasi pembuangan limbah industri penyamakan kulit, sehingga diduga memiliki cemaran yang tinggi.

Hasil penelitian (Nair & Kurian, 2018) menunjukkan bahwa kromium dapat terakumulasi pada ikan Guppy dan menyebabkan kematian. Penelitian tentang akumulasi dan toksisitas limbah penyamakan terhadap ikan guppy menunjukkan bahwa kromium dapat menumpuk pada ikan guppy. Kromium 4,2 µg/ml dapat menyebabkan kematian 50% ikan guppy. Kromium (VI) pada konsentrasi rendah diketahui merusak berbagai organ ikan seperti paru-paru, hati dan ginjal. Bioakumulasi Kromium pada ikan berdampak pada perubahan perilaku, perubahan hematologi, imun, parameter biokimia dan enzim. Selain itu paparan kromium pada ikan juga menimbulkan tekanan oksidatif pada tingkat sel, gangguan endokrin, dan perubahan jaringan liver, otak, insang dan ginjal. Gejala yang ditimbulkan pada ikan

dipengaruhi oleh faktor spesies, umur, kondisi, lingkungan, waktu paparan, dan konsentrasi paparan (Kamila et al., 2023b; Velma et al., 2009).

Hingga saat ini masyarakat sekitar masih mengonsumsi ikan-ikan dari Sungai Opak. Hal ini terlihat dari seringnya pemancing yang berada di sekitar perairan Sungai Opak. Kenampakan para pemancing di Sungai Opak pada titik sampling 4 ditunjukkan melalui **Gambar 4**.



Gambar 4. Aktivitas Memancing di Perairan Sungai Opak oleh Masyarakat Sekitar

Gambar 4 menunjukkan bahwa ikan tangkapan dari sungai masih dimanfaatkan masyarakat. Ditemukannya kandungan kromium pada tubuh ikan tentunya berbahaya bagi manusia apabila ikan tersebut dikonsumsi secara terus-menerus. Logam berat yang masuk ke dalam tubuh akan terserap ke dalam tubuh ikan dan terdistribusi pada darah dan organ. Apabila ikan tersebut dikonsumsi oleh manusia akan menimbulkan radang tenggorokan, nyeri kepala, dermatitis, alergi, anemia dan sebagainya (Pratiwi, 2020).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis di Sungai Opak di Desa Sitimulyo, Kecamatan Piyungan, menunjukkan bahwa industri penyamakan kulit berkontribusi dalam pencemaran air Sungai. Konsentrasi logam berat kromium melebihi ambang batas yang ditetapkan oleh standar baku mutu di 2 lokasi titik penelitian dengan kandungan kromium sebesar 0,80 dan 0,55 mg/L. Akan tetapi hasil pengujian sampel ikan tidak menunjukkan bahwa kontaminasi kromium pada ikan masih dalam batas wajar yaitu sebanyak 0,0379-0,0158 mg/L. Meskipun begitu perlu dilakukan pengelolaan limbah industri penyamakan kulit agar limbah yang dihasilkan tidak melebihi baku mutu dan menimbulkan cemaran.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Kepala Desa Sitimulyo yang telah memberikan izin dan membantu selama penelitian dilaksanakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Azis, M. N., Herawati, T., Anna, Z., & Nuuruwati, I. (2018). Pengaruh Logam Kromium Terhadap Histopatologi Organ Insang, Hati, dan Daging Ikan di Sungai Cimanuk Bagian Hulu Kabupaten Garut. *Jurnal Perikanan Dan Kelautan*, 9(1), 119–128.
- Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 9 Tahun 2022 Tentang Persyaratan Cemaran Logam Berat dalam Pangan Olahan, Pub. L. No. Nomor 9 Tahun 2022, Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan (2022).
- Dianty, F. A. (2019). *Analisis Uptake dan Depurasi Logam Kromium (Cr) dan Timbal (Pb) Terhadap Ikan Nila (Oreochromis niloticus) Menggunakan Air Sungai Code, Yogyakarta* [Skripsi]. Universitas Islam Indonesia.

- Dinas Kesehatan Gunungkidul. (2023). *Mengenal Logam Kromium dan Pengaruhnya pada Kesehatan*. Dinas Kesehatan Kabupaten Gunungkidul. <https://dinkes.gunungkidulkab.go.id/mengenal-logam-kromium-dan-pengaruhnya-dalam-kesehatan/>
- Hanifah, N. N., Rudiyanthi, S., & Ain, C. (2019). Analisis Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) di Sungai Silandak, Semarang. *Journal of Maquares*, 8(3), 257–264. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/maquares>
- Harahap, M. K. A., Rudiyanthi, S., & Widyorini, N. (2020). Analisis Kualitas Perairan Berdasarkan Konsentrasi Logam Berat dan Indeks Pencemaran di Sungai Banjir Kanal Timur Semarang. *Jurnal Pasir Laut*, 4(2), 108–115.
- Jais, N., Ikhtiar, M., Gafur, A., Abbas, H. H., & Hidayat. (2020). Bioakumulasi Logam Berat Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr) yang Terdapat dalam Air dan Ikan di Sungai Tallo Makassar. *Window of Public Health Journal*, 1(3), 261–274. <https://doi.org/10.33096/woph.v1i3.112>
- Juharna, F. M., Widowati, I., & Endrawati, H. (2022). Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Kromium (Cr) pada Kerang Hijau (*Perna viridis*) di Perairan Morosari, Sayung, Kabupaten Demak. *Buletin Oseanografi Marina*, 11(2), 139–148. <https://doi.org/10.14710/buloma.v11i2.41617>
- Kadim, M. K., & Risjani, Y. (2022). Biomarker for monitoring heavy metal pollution in aquatic environment: An overview toward molecular perspectives. *Emerging Contaminants*, 8, 195–205. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2022.02.003>
- Kamila, S., Shaw, P., Islam, S., & Chattopadhyay, A. (2023a). Ecotoxicology of hexavalent chromium in fish: An updated review. *Science of the Total Environment*, 890(May), 164395. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164395>
- Kamila, S., Shaw, P., Islam, S., & Chattopadhyay, A. (2023b). Ecotoxicology of Hexavalent Chromium in Fish: An updated Review. *Science of the Total Environment*, 890, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164395>
- Kuncoro, Y. M., & Eddy Setiadi Soedjono. (2022). Studi Pustaka: Teknologi Pengolahan Air Limbah pada Industri Penyamakan Kulit. *Jurnal Teknik ITS*, 11(3), 142–149.
- Ma'dika, G. A., Rahardjo, D., & Kisworo. (2021). Hubungan Profil Cemaran Kromium dengan Struktur Komunitas Moluska di Sungai Opak. *Biospecies*, 14(1), 67–74.
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 01 Tahun 2010 tentang Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air, (2010).
- Nair, D. S., & Kurian, M. (2018). Chromium-Zinc Ferrite Nanocomposites for The Catalytic Abatement of Toxic Environmental Pollutants Under Ambient Conditions. *Journal of Hazardous Materials*, 344, 925–941. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.11.045>
- Natalia, M. D. (2017, September 27). *Pencemaran Lingkungan: Pakar Sebut Ada 2 Penyebab Ikan di Sungai Opak Mati*. Solopos Jogja. <https://jogja.solopos.com/pencemaran-lingkungan-pakar-sebut-ada-2-penyebab-ikan-di-sungai-opak-mati-855294>.
- Prasetyo, Y. E., Abida, I. W., Laksani, M. R. T., & Putri, R. R. (2023). Histopatologi Jaringan Insang Ikan Betok (*Anabas testudineus* Bloch, 1792) Akibat Paparan Logam Berat Kromium (Cr) DI Sungai Desa Geluran Kabupaten Sidoarjo. *Jurnal Ilmiah Kelautan Dan Perikanan*, 3(4), 134–142. <https://doi.org/10.21107/juvenil.v3i4.17615>
- Pratiwi, D. Y. (2020). Dampak Pencemaran Logam Berat (Timbal, Tembaga, Merkuri, Kadmium, Krom) terhadap Organisme Perairan dan Kesehatan Manusia. *Jurnal Akuatek*, 1(1), 59–65.
- Putri, L. R. I. D., Moelyaningrum, A. D., & Ningrum, P. T. R. (2022). Kondisi Fisik Air Sungai Dan Kandungan Logam Kromium Pada Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) (Studi Di Sungai Kreongan

- Sekitar Industri Batik X, Kecamatan Patrang, Kabupaten Jember). *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 21(3), 293–300. <https://doi.org/10.14710/jkli.21.3.293-300>
- Rahardjo, D., & Prasetyaningsih, A. (2021). Effect of Leather Industry Liquid Waste Disposal Activities Against Chromium Pollutant Profile in the Environment and their Accumulation in Molluscs, Fish and Rice Along the Downstream Opak River. *Prosiding Seminar Nasional UNIMUS Volume 4*, 1830–1841.
- Rahayu, Y., Juwana, I., & Marganingrum, D. (2018). Kajian Perhitungan Beban Pencemaran Air Sungai Di Daerah Aliran Sungai (DAS) Cikapundung dari Sektor Domestik. *Jurnal Rekayasa Hijau*, 2(1), 61–71.
- Sriyono, F. D. A. A. (2019). *Analisis Uptake dan Depurasi Logam Timbal (Pb) dan Kromium (Cr) Terhadap Ikan Nila (Oreochromis niloticus) Menggunakan Air Terkontaminasi* [Skripsi]. Universitas Islam Indonesia.
- Velma, V., Vutukuru, S. S., & Tchounwou, P. B. (2009). Ecotoxicology of Hexavalent Chromium in Freshwater Fish: A Critical Review. *Rev Environ Health*, 24(2), 129–145.
- Wahyu Nugraha, A., Suparno, O., & Indrasti, N. S. (2018). Analisis Material, Energi, dan Toksisitas (MET) Pada Industri Penyamakan Kulit untuk Identifikasi Strategi Produksi Bersih. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 28(1), 48–60. <https://doi.org/10.24961/j.tek.ind.pert.2018.28.1.48>