

**Pengaruh Aktivitas Pembuangan Limbah Cair Kawasan Industri
Piyungan Terhadap Profil Cemarkan Kromium Pada Air Irigasi,
Sedimen Dan Bulir Padi di Sepanjang Hilir Aliran Sungai Opak,
Yogyakarta**

Skripsi



Arman Roland Maabuat

31180211

Program Studi Biologi

Fakultas Bioteknologi

Universitas Kristen Duta Wacana

Yogyakarta

2025

**Pengaruh Aktivitas Pembuangan Limbah Cair Kawasan Industri
Piyungan Terhadap Profil Cemar Kromium Pada Air Irigasi,
Sedimen Sawah dan Bulir Padi di Sepanjang Hilir Aliran Sungai
Opak, Yogyakarta**

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh

Gelar Sarjana Sains (S.Si)

Pada Program Studi Biologi, Fakultas Bioteknologi

Universitas Kristen Duta Wacana



Arman Roland Maabuat

31180211

DUTA WACANA

Program Studi Biologi

Fakultas Bioteknologi

Universitas Kristen Duta Wacana

Yogyakarta

2025

PERNYATAAN PENYERAHAN KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Arman Roland Maabuat
NIM/NIP/NIDN : 3186211
Program Studi : Biologi
Judul Karya Ilmiah : Chromium Content in Irrigation Water, Sediment and Rice Grains Along the Downstream of Opak River, Yogyakarta (2022)

dengan ini menyatakan:

- bahwa karya yang saya serahkan ini merupakan revisi terakhir yang telah disetujui pembimbing/promotor/reviewer.
- bahwa karya saya dengan judul di atas adalah asli dan belum pernah diajukan oleh siapa pun untuk mendapatkan gelar akademik baik di Universitas Kristen Duta Wacana maupun di universitas/institusi lain.
- bahwa karya saya dengan judul di atas sepenuhnya adalah hasil karya tulis saya sendiri dan bebas dari plagiasi. Karya atau pendapat pihak lain yang digunakan sebagai rujukan dalam naskah ini telah dikutip sesuai dengan kaidah penulisan ilmiah yang berlaku.
- bahwa saya bersedia bertanggung jawab dan menerima sanksi sesuai dengan aturan yang berlaku berupa pencabutan gelar akademik jika di kemudian hari didapati bahwa saya melakukan tindakan plagiasi dalam karya saya ini.
- bahwa Universitas Kristen Duta Wacana tidak dapat diberi sanksi atau tuntutan hukum atas pelanggaran hak kekayaan intelektual atau jika terjadi pelanggaran lain dalam karya saya ini. Segala tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran dalam karya saya ini akan menjadi tanggung jawab saya pribadi, tanpa melibatkan pihak Universitas Kristen Duta Wacana.
- menyerahkan hak bebas royalti noneksklusif kepada Universitas Kristen Duta Wacana, untuk menyimpan, melestarikan, mengalihkan dalam media/format lain, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), dan mengunggahnya di Repositori UKDW tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan pemilik hak cipta atas karya saya di atas, untuk kepentingan akademis dan pengembangan ilmu pengetahuan.

- g. bahwa saya bertanggung jawab menyampaikan secara tertulis kepada Universitas Kristen Duta Wacana jika di kemudian hari terdapat perubahan hak cipta atas karya saya ini.
- h. bahwa meskipun telah dilakukan pelestarian sebaik-baiknya, Universitas Kristen Duta Wacana tidak bertanggung jawab atas kehilangan atau kerusakan karya atau metadada selama disimpan di Repositori UKDW.
- i. mengajukan agar karya saya ini: *(pilih salah satu)*
- ☒ Dapat diakses tanpa embargo.
 - ☐ Dapat diakses setelah 2 tahun.*
 - ☐ Embargo permanen.*

Embargo: penutupan sementara akses karya ilmiah.

*Halaman judul, abstrak, dan daftar pustaka tetap wajib dibuka.

Alasan embargo *(bisa lebih dari satu)*:

- ☐ dalam proses pengajuan paten.
- ☐ akan dipresentasikan sebagai makalah dalam seminar nasional/internasional.**
- ☐ akan diterbitkan dalam jurnal nasional/internasional.**
- ☐ telah dipresentasikan sebagai makalah dalam seminar nasional/internasional ... dan diterbitkan dalam prosiding pada bulan ... tahun ... dengan DOI/URL ... ***
- ☐ telah diterbitkan dalam jurnal ... dengan DOI/URL artikel ... atau vol./no. ... ***
- ☐ berisi topik sensitif, data perusahaan/pribadi atau informasi yang membahayakan keamanan nasional.
- ☐ berisi materi yang mengandung hak cipta atau hak kekayaan intelektual pihak lain.
- ☐ terikat perjanjian kerahasiaan dengan perusahaan/organisasi lain di luar Universitas Kristen Duta Wacana selama periode tertentu.
- ☐ Lainnya (mohon dijelaskan)

**Setelah diterbitkan, mohon informasikan keterangan publikasinya ke repository@staff.ukdw.ac.id.

***Tuliskan informasi kegiatan atau publikasinya dengan lengkap.

DUTA WACANA

Yogyakarta, 17 Juli 2025

Mengetahui,

Drs. Djoko Rahardjo, M. Kes.

Tanda tangan & nama terang pembimbing
NIDN/NIDK _____

Yang menyatakan,

Tanda tangan & nama terang pemilik karya/penulis
NIM 31180211

LEMBAR PENGESAHAN NASKAH SKRIPSI

Skripsi dengan judul:

Pengaruh Aktivitas Pembuangan Limbah Cair Kawasan Industri Piyungan Terhadap Profil Cemaran Kromium Pada Air Irigasi, Sedimen Sawah dan Bulir Padi di Sepanjang Hilir Aliran Sungai Opak, Yogyakarta

Telah diajukan dan dipertahankan oleh:

ARMAN ROLAND MAABUAT

31180211

Dalam Ujian Skripsi Program Studi Biologi

Fakultas Bioteknologi

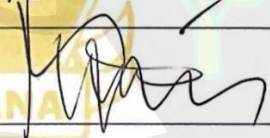
Universitas Kristen Duta Wacana

Dan dinyatakan DITERIMA untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Sains pada tanggal 14 April 2025

Nama Dosen

1. Drs. Djoko Rahardjo, M.Kes.
(Dosen Pembimbing I/Ketua Tim Penguji) :
2. Drs. Kisworo, M.Sc.
(Dosen Pembimbing II/Dosen Penguji II) :
3. drh. Vinsa Cantya Prakasita, SKH.,M.Sc.
(Dosen Penguji III) :

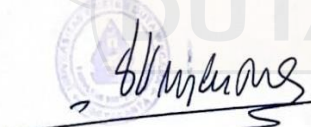
Tanda Tangan


Yogyakarta, 22 Juli 2025

Dekan,

Ketua Program Studi,


Dr. Charis Amarantini, M.Si

NIK. 914 E 155


Dwi Adityarini, S.Si., M.Biotech., M.Sc

NIK. 214 E 556

LEMBAR PERSETUJUAN NASKAH SKRPSI

Judul Skripsi : Pengaruh Aktivitas Pembuangan Limbah Cair Kawasan Industri Piyungan terhadap Profil Cemarkan Kromium pada Air Irigasi, Sedimen Sawah dan Bulir Padi di Sepanjang Hilir Aliran Sungai Opak, Yogyakarta.

Nama : Arman Roland Maabuat

NIM : 31180211

Pembimbing I : Drs. Djoko Rahardjo, M. Kes.

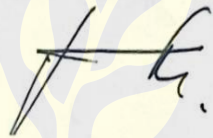
Pembimbing II : Drs. Kisworo, M. Sc.

Hari/Tanggal Ujian : Senin, 14 April 2025

Disetujui oleh:

Pembimbing I,

Pembimbing II,


Drs. Djoko Rahardjo, M.Kes.
NIK: 904 E 131


Drs. Kisworo, M.Sc.
NIK: 874 E 054

Ketua Program Studi,


Dwi Adityarini, S.Si., M. Biotech., M.Sc.
NIK: 214 E 556

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Arman Roland Maabuat

NIM : 31180211

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul:

“Pengaruh Aktivitas Pembuangan Limbah Cair Kawasan Industri Piyungan terhadap Profil Cemarkan Kromium Pada Air Irigasi, Sedimen Sawah dan Bulir Padi di Sepanjang Hilir Aliran Sungai Opak, Yogyakarta”

adalah hasil karya saya dan bukan merupakan duplikasi sebagian atau seluruhnya dari karya orang lain yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan dari suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu di dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar Pustaka.

Pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya secara sadar dan bertanggungjawab dan saya bersedia menerima sanksi pembatalan skripsi apabila terbukti melakukan duplikasi terhadap skripsi atau karya ilmiah lain yang sudah ada.

Yogyakarta, 14 Maret 2025



(Arman Roland Maabuat)

NIM: 31180211

KATA PENGANTAR

Puji serta syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya kepada penulis, sehingga dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul “Pengaruh Aktivitas Pembuangan Limbah Cair Kawasan Industri Piyungan Terhadap Profil Cemar Kromium Pada Air Irigasi, Sedimen dan Bulir Padi di Sepanjang Hilir Aliran Sungai Opak, Yogyakarta.”

Penelitian ini dilakukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi S1 Sarjana Sains program studi Biologi Fakultas Bioteknologi Universitas Kristen Duta Wacana. Selama penyusunan penelitian ini penulis banyak mendapat arahan, bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, karena itu penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada yang terhormat:

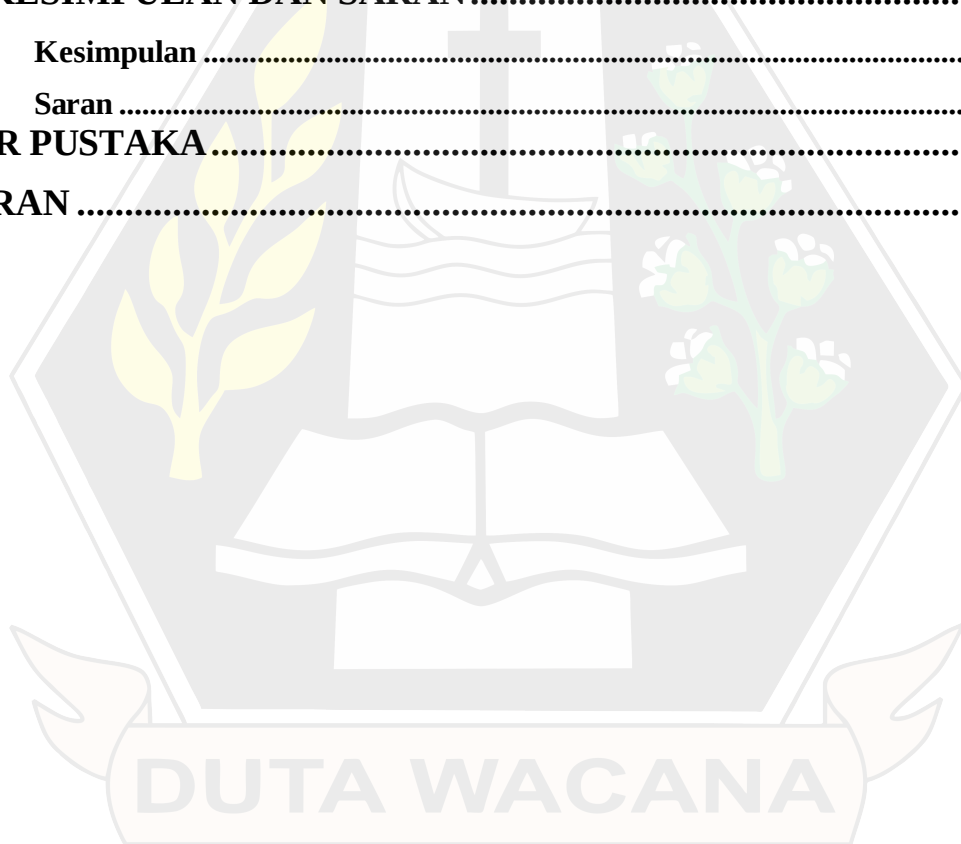
1. Drs. Djoko Rahardjo, M. Kes. Selaku Pembimbing Utama.
2. Drs. Kisworo, M. Sc. Selaku Pembimbing Pendamping.
3. Dwi Aditiyarini, S.Si., M. Biotech., M.Sc. Selaku Ketua Program Studi Biologi Fakultas Bioteknologi Universitas Kristen Duta Wacana.
4. Laboratorium terpadu Fisika Dasar dan Kimia Dasar Universitas Islam Indonesia yang telah memfasilitasi penelitian ini.
5. Ibunda Jelmi Misa dan Ayahanda Agustinus Maabuat, saudara-saudari yang terus memberi motivasi serta dukungan doanya.
6. Teman-teman penelitian ini yaitu, Wendy, Jakob dan Indah yang selalu bekerja sama dan saling mendukung.
7. Teman, sahabat dan rekan seperjuangan Bioteknologi 2018 khususnya kepada Alfredo Reynaldi dan Adeline Theophil untuk segala motivasi, masukan dan kebersamaan yang tidak terlupakan.

Akhir kata semoga amal kebaikan yang telah diberikan kepada penulis mendapat imbalan yang setimpal dari Tuhan yang Maha Esa dan mudah-mudahan penelitian ini bisa bermanfaat bagi penulis dan umumnya bagi yang memerlukan.

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	iii
LEMBAR PERSETUJUAN NASKAH SKRIPSI.....	iv
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
ABSTRAK.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Manfaat.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Industri Penyamakan Kulit.....	3
2.2 Karakteristik Kromium (Cr)	3
2.3 Distribusi Logam Berat Kromium di Lingkungan	4
2.4 Akumulasi Logam Berat Kromium di Lahan Pertanian.....	4
BAB III METODOLOGI.....	7
3.1 Waktu dan Tempat.....	7
3.2 Desain Penelitian dan Lokasi Pengambilan Sampel.....	7
3.3 Parameter yang diukur	8
3.3.1 Pengukuran pH.....	8
3.3.2 Pengukuran Suhu.....	8
3.4 Bahan dan Alat.....	8

3.5	Pengukuran Parameter	8
3.6	Pengumpulan Data.....	9
3.6.1	Pengukuran Parameter	9
3.6.2	Preparasi Sampel.....	9
3.6.3	Ekstraksi Sampel	9
3.6.4	Analisis Kadar Logam Berat Kromium pada Sampel	10
3.7	Analisis Data	11
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		12
4.1	Tingkat Kontaminasi Pencemar Kromium pada Area Persawahan	12
4.2	Perbedaan Tingkat Pencemaran Krom Berdasarkan Lokasi Pengambilan Sampel	13
4.3	Hubungan Konsentrasi Kromium Dalam Air Irigasi dan Sedimen terhadap Akumulasi Kromium Pada Bulir Padi di Sepanjang Sungai Opak.....	18
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		21
5.1	Kesimpulan	21
5.2	Saran	22
DAFTAR PUSTAKA.....		23
LAMPIRAN		26



DAFTAR TABEL

Nomor Tabel	Judul Tabel	Halaman
1	Tingkat Kontaminasi Pencemar Kromium	12
2	Hasil Uji Anova Kadar Kromium di Semua Stasiun	14
3	Karakteristik Kualitas Air Irigasi Sawah	16
4	Uji Korelasi Antara Konsentrasi Kromium pada Air Irigasi dan Sedimen terhadap Bulir Padi	19



DAFTAR GAMBAR

Nomor Gambar	Judul Gambar	Halaman
1	Peta stasiun lokasi pengambilan sampel air irigasi, sedimen dan bulir padi.	7
2	Grafik distribusi konsentrasi kromium terhadap air irigasi, sedimen dan bulir padi.	18



DAFTAR LAMPIRAN

Nomor Lampiran	Judul Lampiran	Halaman
1	Hasil Uji AAS Konsentrasi Kromium (mg/l) Pada Sampel	27
2	Hasil Uji Statistik ANOVA One Way	28
3	Hasil Uji Korelasi	29
4	Gambar Lokasi Sampling	30
5	Kegiatan Penelitian	32
6	Borang Pemantauan Bimbingan Skripsi	34
7	Turnitin	36



ABSTRAK

Pengaruh Aktivitas Pembuangan Limbah Cair Kawasan Industri Piyungan Terhadap Profil Cemar Kromium Pada Air Irigasi, Sedimen Sawah dan Bulir Padi di Sepanjang Hilir Aliran Sungai Opak, Yogyakarta

Arman Roland Maabuat

Sungai merupakan salah satu ekosistem perairan yang memiliki peran dalam menunjang kegiatan dan kehidupan manusia, diantaranya dimanfaatkan oleh masyarakat lokal untuk keperluan kehidupan sehari-hari yaitu sebagai sumber perkebunan, pengirigasian air sawah, perikanan dan kegiatan industri. Industri penyamakan kulit menghasilkan limbah yang apabila masuk ke badan air tanpa pengolahan terlebih dahulu akan memicu pencemaran lingkungan. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui adanya kontaminasi dari logam berat kromium di hilir sungai Opak, Yogyakarta, mengetahui perbedaan pencemar berdasarkan titik pengambilan sampel dan mengetahui hubungan konsentrasi logam berat kromium pada air dan sedimen terhadap akumulasi kromium (Cr) pada bulir padi. Terdapat 5 titik stasiun penelitian (Kecamatan Kalasan, Piyungan, Pleret, Imogiri dan Pundong) dengan 3 pengulangan dan 3 sampel yaitu air irigasi, sedimen dan bulir padi. Sampel diekstraksi dengan metode aquaregia dan kadar kromium dianalisis menggunakan AAS. Dari hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa areal persawahan di sepanjang hilir sungai Opak telah terkontaminasi oleh pencemar kromium dengan sebaran pencemar kromium yang telah ditemukan pada sampel air irigasi, sedimen dan bulir padi dengan kisaran dan rerata secara berurutan sebesar 0,064 – 0,146 ppm (rerata 0,108), 0,412 – 2,461 ppm (rerata 0,851) dan 0,108 – 2,762 ppm (rerata 0,440). Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan di areal lahan persawahan sepanjang hilir aliran sungai Opak maka dapat diambil kesimpulan bahwa pada sampel bulir padi dan sedimen tingkat pencemar tergolong aman dibandingkan dengan nilai baku mutu yang ditetapkan, sedangkan pada sampel air irigasi tergolong tidak aman karena sudah melewati standar baku mutu. Nilai konsentrasi kromium yang diambil dari 5 titik stasiun di 5 kecamatan berbeda memiliki nilai konsentrasi yang bervariasi dan korelasi menunjukkan bahwa konsentrasi krom pada air irigasi dan tanah sawah secara bersamaan tidak memiliki hubungan secara signifikan terhadap akumulasi krom pada bulir padi

Kata Kunci: Industri penyamakan kulit, Distribusi, Kromium (Cr), Padi

DU TA WACANA

ABSTRACT

The Effect of Liquid Waste Disposal Activities in the Piyungan Industrial Area on the Chromium Contamination Profile in Irrigation Water, Paddy Field Sediment and Rice Grains Along the Downstream of the Opak River, Yogyakarta

Arman Roland Maabuat

The river is one of the aquatic ecosystems that plays an important role in supporting human activities and livelihoods. It is utilized by the local community for daily needs, such as plantations, rice field irrigation, fisheries, and industrial activities. The leather tanning industry produces waste that, if discharged into water bodies without prior treatment, can cause environmental pollution. This study aims to determine the presence of chromium heavy metal contamination in the downstream area of the Opak River, Yogyakarta, to identify differences in pollutant levels based on sampling points, and to analyze the correlation between chromium concentrations in water and sediment with chromium (Cr) accumulation in rice grains. The study was conducted at five research stations (Kalasan, Piyungan, Pleret, Imogiri, and Pundong sub-districts) with three replications and three sample types: irrigation water, sediment, and rice grains. Samples were extracted using the aqua regia method, and chromium levels were analyzed using Atomic Absorption Spectroscopy (AAS). The results showed that the rice fields along the downstream area of the Opak River had been contaminated by chromium pollutants. Chromium was detected in irrigation water, sediment, and rice grain samples, with concentration ranges and averages as follows: 0.064 – 0.146 ppm (average 0.108) for irrigation water, 0.412 – 2.461 ppm (average 0.851) for sediment, and 0.108 – 2.762 ppm (average 0.440) for rice grains. Based on the results of research conducted in the rice field area along the downstream of the Opak River, it can be concluded that in the rice grain and sediment samples, the pollutant levels are classified as safe compared to the established quality standards, while in the irrigation water samples, they are classified as unsafe because they have exceeded the quality standards. The chromium concentration values taken from 5 station points in 5 different sub-districts have varying concentration values and the correlation shows that the chromium concentration in irrigation water and rice field soil simultaneously does not have a significant relationship to the accumulation of chromium in rice grains.

Keywords: Leather tanning industry, Distribution, Chromium (Cr), Rice

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sungai merupakan salah satu ekosistem perairan yang memiliki peran penting dalam menunjang kegiatan dan kehidupan manusia, (Nuralim dkk., 2014). Kali Opak termasuk salah satu perairan dengan panjang aliran hingga ± 65 kilo meter melintasi kabupaten Sleman dan kabupaten Bantul, provinsi DI Yogyakarta. Sungai yang memiliki luas daerah aliran hingga $\pm 1398,18 \text{ km}^2$ dimanfaatkan oleh masyarakat lokal untuk keperluan kehidupan sehari-hari yaitu sebagai sumber perkebunan, pengirigasian air sawah, perikanan dan kegiatan industri. Adanya pembangunan rumah dan industri yang terus menerus dilakukan, mengakibatkan sungai ini mulai mengalami pencemaran. Pembuangan limbah pencemar yang dihasilkan pabrik mengakibatkan turunnya kualitas air dan terganggunya komponen-komponen dalam ekosistem sungai. Pemerintah menetapkan peraturan No.82 Tahun 2001 tentang pencemaran air yang masuknya makhluk hidup, energi maupun zat atau unsur lain ke dalam air diakibatkan oleh aktivitas manusia yang memicu penurunan kualitas air hingga ke tingkat terendah sehingga mengakibatkan air tidak lagi berfungsi sesuai peranannya.

Perindustrian yang letaknya berada di Kecamatan Piyungan, Kabupaten Bantul, Yogyakarta, memiliki beberapa pabrik penyamakan kulit serta pabrik lain di sekitarnya. Semua industri penyamakan kulit berpengaruh besar dalam pencemaran logam berat krom dilingkungan. Hadirnya industri penyamakan kulit memberi dampak negatif bagi lingkungan. Salah satu contohnya yaitu pada pembangunan yang terus-menerus berpotensi dapat mengancam lingkungan pertanian khususnya daerah persawahan. Pengaruh keberadaan industri juga dapat menimbulkan pencemaran air maupun udara yang berasal dari asap pabrik dengan adanya polutan yang berbahaya dan limbah cair (bersifat toksik) yang dibuang langsung ke badan sungai Opak.

Aktivitas penyamakan kulit hingga kini belum mendapat perhatian khusus dalam penetapan regulasi tentang penanganan limbah cair, sehingga mengakibatkan limbah cair dibuang secara sembarangan ke badan sungai. Tanaman padi merupakan salah satu sumber bahan pokok yang dimanfaatkan oleh masyarakat di daerah Piyungan, Kabupaten Bantul, Yogyakarta. Pada umumnya ada beberapa jenis padi yang dibudidaya oleh petani beras di daerah Bantul,

diantaranya adalah Inbrida Padi Sawah Irigasi (IMPARI) 45 dirgahayu, impari digdaya dan lain sebagainya. Beras yang dihasilkan dari tumbuhan padi dapat menyerap dan menyimpan unsur logam berat di tanah yang tercemar. Komponen bahan pencemar seperti logam berat yang diserap dari tanah melalui jaringan akar kemudian diangkut ke seluruh bagian jaringan tanaman akan terakumulasi di dalam organ tanaman.

Sebagian besar petani padi memanfaatkan air irigasi dari aliran sungai Opak yang mana air sungai tersebut sudah tercemar logam berat krom (Cr) hasil dari aktivitas perindustrian. Atas dasar penelitian ini perlu dilakukan analisis atau studi mendalam terhadap kadar kromium pada air irigasi, sedimen dan bulir padi dari beberapa sektor persawahan yang dilintasi oleh aliran kali Opak.

1.2 Rumusan Masalah

1. Apakah areal persawahan di sepanjang aliran Opak bagian hilir telah terkontaminasi pencemaran kromium?
2. Apakah terdapat perbedaan konsentrasi pencemar berdasarkan titik pengambilan sampel?
3. Apakah ada hubungan antara tingkat akumulasi kromium pada air irigasi dan sedimen dengan tingkat akumulasi pada bulir padi?

1.3 Tujuan

1. Mengetahui adanya kontaminasi dari logam berat kromium di hilir sungai Opak.
2. Mengetahui perbedaan konsentrasi pencemar berdasarkan titik pengambilan sampel.
3. Mengetahui hubungan konsentrasi logam berat kromium (air irigasi dan sedimen) terhadap akumulasi krom pada bulir padi.

1.4 Manfaat

Dalam penelitian ini dapat diperlukan sumber data sebagai acuan referensi pencemaran lingkungan dari logam berat kromium bagi penelitian seterusnya secara akademis. Kemudian untuk pemerintah diharapkan bisa menjadi sebuah bahan evaluasi dalam pengelolaan lingkungan, dasar penetapan regulasi serta pembinaan bagi sektor industri.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Industri Penyamakan Kulit

Industri penyamakan kulit adalah sebuah pabrik yang memanfaatkan zat kimia dan air sebagai bahan pengolahan kulit mentah hewan menjadi produk kulit jadi. Hal tersebut berpotensi dapat mengakibatkan masalah yang serius bagi lingkungan karena adanya penggunaan dari zat-zat kimia yang berlebihan. Industri penyamakan kulit memiliki beberapa tahapan pengolahan yang dimulai dari proses pembersihan, penyamakan, pewarnaan dan penyempurnaan. Industri penyamakan kulit menghasilkan limbah cair, padat dan gas selama operasinya, namun limbah cair tetap menjadi limbah yang paling banyak dihasilkan dalam industri ini, (Murti dkk., 2013).

Kromium (Cr) adalah salah satu bahan kimia yang lebih sering dipakai sebagai bahan utama dalam proses pengolahan di industri kulit yang dimana mencapai angka 85 persen kulit yang disamak didunia ini memakai bahan kimia krom, (Bacordit et al., 2014). Dengan demikian, hal ini dapat diketahui bahwa kromium mampu memberikan reaksi terhadap asam amino dan membentuk ikatan tanpa adanya kolagen kulit (Mustakim et al., 2010). Selain itu, keunggulan yang dimiliki dalam penggunaan kulit sama krom adalah kesesuaian untuk produksi berbagai macam produk kulit dan kompatibilitas yang lebih baik antara kulit mentah dengan bahan kimia dalam mekanisme penyamakan ulang dan penggemukan (Wu et al., 2014). Majalah Gulungan Kulit, Karet dan Plastik No. 32 1 Jun 2016: 21-30 menyatakan bahwa penyamakan krom juga memiliki daya tarik yang lebih tinggi, lebih tahan terhadap suhu yang tinggi dan memiliki efek pelapisan yang baik (Mustakim et al., 2010) serta mempunyai stabilitas termal air yang lebih tinggi. Penyamakan kulit secara tradisional yang memanfaatkan bahan kimia berupa kromium memiliki dampak lingkungan karena membawa sisa kromium ke dalam cairan limbah, (Wu et al., 2014).

2.2 Karakteristik Kromium (Cr)

Kromium adalah logam transisi yang menunjukkan sifat kimiawi yang kompleks, berpotensi beracun yang terjadi di air dan air tanah sebagai akibat dari sumber alami dan antropogenik, (Sharma, S.K dkk, 2008). Paparan kromium yang bertahan lama dan berkelanjutan bahkan pada konsentrasi rendah, dalam kasus paparan pekerjaan, dapat merusak kulit, mata, darah, pernapasan, dan sistem kekebalan, (Zhang, R, dkk., 2014). Meskipun kromium yang

digunakan untuk penyamakan kulit adalah trivalen (Cr^{+3}), heksavalen (Cr^{+6}) selalu ada dalam air limbah (Giacinta et al., 2013). Oleh karena itu, jika dibuang langsung ke lingkungan tanpa adanya perlakuan khusus, maka limbah pabrik yang dihasilkan dari proses penyamakan kulit akan mengakibatkan terjadinya pencemaran lingkungan khususnya pada bagian ekosistem perairan seperti sungai (Nurfitriyani et al., 2014). Kromium merupakan salah satu logam berat yang pada dasarnya memiliki sifat toksik dimana tingkatan toksisitasnya bergantung pada valensi ion, serta toksisitas Cr^{+6} adalah ± 100 kali lebih tinggi dibanding Cr^{+3} (Perdana et al., 2013). Kromium (Cr^{+6}) selain memiliki sifat yang berbahaya juga bersifat korosif serta memiliki zat atau agen yang dapat menimbulkan kanker atau biasa disebut karsinogenik (Rahmawati dan Suhendar, 2015). Tubuh manusia membutuhkan $50 - 200 \mu\text{g}/\text{hari}$ sebagai sumber nutrisi atau zat gizi yang dihasilkan Cr^{+3} . Akan tetapi, ada kekhawatiran dari ion Cr^{+3} bahwa dapat teroksidasi menjadi Cr^{+6} dalam lingkungan basa atau dengan adanya kondisi tertentu (Vaskova et al., 2013; Ardinal et al., 2014).

2.3 Distribusi Logam Berat Kromium di Lingkungan

Bahan pencemar berupa logam berat memiliki sifat toksik yang sangat berbahaya bagi keseimbangan lingkungan. Apabila masuknya sumber pencemar dengan jumlah yang besar ke dalam lingkungan akan memberikan dampak buruk dalam berbagai aspek yaitu pada perairan baik secara ekologis maupun secara biologis, (Rahmadani, 2018). Masuknya logam berat sebagai bahan pencemar dengan jumlah tertentu ke dalam badan air yang terdapat sedimen dan biota di dalamnya termasuk hal yang alami. Namun kehadiran logam berat akan terus meningkat akibat masuknya bahan pencemar yang dihasilkan dari limbah industri dan limbah kegiatan lainnya, (Rochyatun. dan A. Rozak, 2007). Penggunaan bahan kimia kromium (Cr) pada proses penyamakan kulit umumnya sudah melewati batas baku mutu yang ditetapkan dan kemudian limbah yang dihasilkan dibuang langsung ke ekosistem perairan tanpa adanya pengolahan terlebih dahulu.

Pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh kromium (Cr) semakin mendapat perhatian karena penyebarannya yang luas di berbagai belahan dunia. Kadar kromium yang cukup tinggi ditemukan pada air dan tanah, baik karena proses alami maupun aktivitas manusia. Aktivitas tersebut meliputi pertambangan, industri logam, produksi baja dan paduan logam, pembuatan cat, pemrosesan kayu dan kertas, proses pewarnaan, serta peningkatan kadar kromium dalam air limbah (Jones, A.S, 2019).

2.4 Akumulasi Logam Berat Kromium di Lahan Pertanian

Pemahaman mengenai penyerapan logam berat oleh tanaman yang berkaitan dengan jalur absorpsi logam, sangat penting untuk mengidentifikasi spesies tanaman yang mampu mengakumulasi logam berat. Proses penyerapan logam oleh tanaman terjadi melalui akar yang mana tingkat penyerapan tersebut sebagian besar dipengaruhi oleh potensi ionik dari unsur yang bersangkutan. Menurut Jan (2016), tanaman memiliki kemampuan secara spesifik untuk menyerap, menranslokasikan hingga mengakumulasi logam. Namun, unsur logam juga dapat menjadi racun bagi tanaman jika terdapat dalam konsentrasi yang lebih tinggi di lingkungan baik tanah dan air. Akumulasi logam berat dalam tanah mempengaruhi sifat-sifat tanah dan mempengaruhi pembentukan dan pertumbuhan tanaman yang akar awalnya berkembang di lapisan yang paling terkontaminasi (Mishra, 2006).

Terjadinya peningkatan akumulasi logam berat krom dalam sedimen disebabkan oleh adanya presipitasi dari partikel halus (partikulat) mengadsorpsi logam berat kromium oleh bahan organik limbah di dasar perairan. Dimana dalam perairan yang terdapat kromium akan berlangsung proses kimia berawal dari pengomplekan hingga terjadinya reaksi redoks yang mengakibatkan adanya proses pengendapan/sedimentasi di dasar perairan.

Pada umumnya tumbuhan akuatik memiliki kemampuan yang lebih besar dalam mengakumulasi konsentrasi logam berat dalam organnya dari pada yang berada di air sekitarnya. Masuknya logam berat dalam organ tanaman lebih kuat berada di akar tanaman dari pada organ lainnya. Perbandingan konsentrasi logam berat pada jaringan tanaman akumulator dapat dihitung menggunakan faktor biokonsentrasi (BCF), yakni rasio antara kandungan logam dalam organisme akuatik dan di air sekitarnya. Tumbuhan dengan nilai $BCF < 1$ merupakan tumbuhan yang menyerap logam berat namun tidak termasuk dalam akumulator, sedangkan tumbuhan yang nilainya >1 menunjukkan tumbuhan tersebut dapat mengakumulasi logam berat atau disebut dengan akumulator logam, (Cui et al. 2007). Biokonsentrasi faktor akumulasi (BCF) didefinisikan sebagai konsentrasi logam berat dalam jaringan tanaman (mikrogram per gram) dibagi dengan konsentrasi logam berat di air (mikrogram per mililiter).

$$BCF = \frac{\text{Metal concentration in plant tissue } (\mu\text{g.g}^{-1})}{\text{Metal concentration in water } (\mu\text{g.mL}^{-1})}$$

Jika, hasil BCF > 1000	= kemampuan akumulator tinggi.
Hasil BCF > 250	= kemampuan akumulator sedang.
Hasil BCF < 250	= kemampuan akumulator rendah.

Penyerapan logam berat (*heavy metals*) dalam jaringan tanaman dimediasi pada tingkat ekstraseluler dan intraseluler melalui reaksi campuran mekanisme fisiologis, biokimia, dan molekuler di tanah yang tercemar (Singh, 2020). Setiap tanaman memiliki kemampuan menyerap logam berat dari lingkungan. Akar tanaman secara umum berperan dalam menyerap logam berat dari lingkungan sekitarnya, baik yang terdapat di dalam tanah maupun air. Logam berat yang diserap tersebut kemudian akan terbawa ke wilayah sekitar akar yang dikenal sebagai rizofe dalam bentuk larutan. Proses penyerapan ini tidak terjadi begitu saja, melainkan dipengaruhi oleh sejumlah faktor penting, di antaranya adalah tingkat keasaman (pH) lingkungan yang dapat memengaruhi kelarutan logam berat, pembentukan enzim reduktase spesifik yang berperan dalam mereduksi logam tertentu sehingga lebih mudah diserap, serta keberadaan agen pengkelat yang membantu mengikat logam berat agar lebih stabil dan mudah diserap oleh tanaman. Menurut Jan (2016), akar tanaman memperoleh bantuan dari agen pengkelat yang diproduksi oleh tanaman, perubahan pH yang diinduksi oleh tanaman, serta reaksi redoks. Proses tersebut mampu melarutkan dan menyerap unsur hara mikro meskipun berada pada konsentrasi yang sangat rendah di dalam tanah, bahkan dari endapan yang nyaris tidak larut. Selanjutnya, logam akan ditranslokasikan ke seluruh bagian tanaman.

Logam berat ditranslokasikan ke bagian atas tanaman melalui aliran transpirasi yang berlangsung di jaringan pengangkut, yaitu xilem dan floem. Proses ini dapat ditingkatkan dengan bantuan agen pengkelat (Singh, 2020). Setelah mengalami translokasi, logam berat akan terakumulasi dan terlokalisasi di jaringan tanaman tertentu, di mana logam tersebut akan berikatan dengan unsur hara lainnya. Untuk menilai potensi tanaman sebagai agen fitoremediasi, faktor yang paling penting adalah nilai Translocation Factor (TF), yang menunjukkan kemampuan tanaman dalam memindahkan logam dari akar ke tajuk (Yoon et al., 2006).

$$TF = \frac{\text{Konsentrasi Logam Berat pada organ tumbuhan}}{\text{Konsentrasi logam berat pada akar}}$$

BAB III

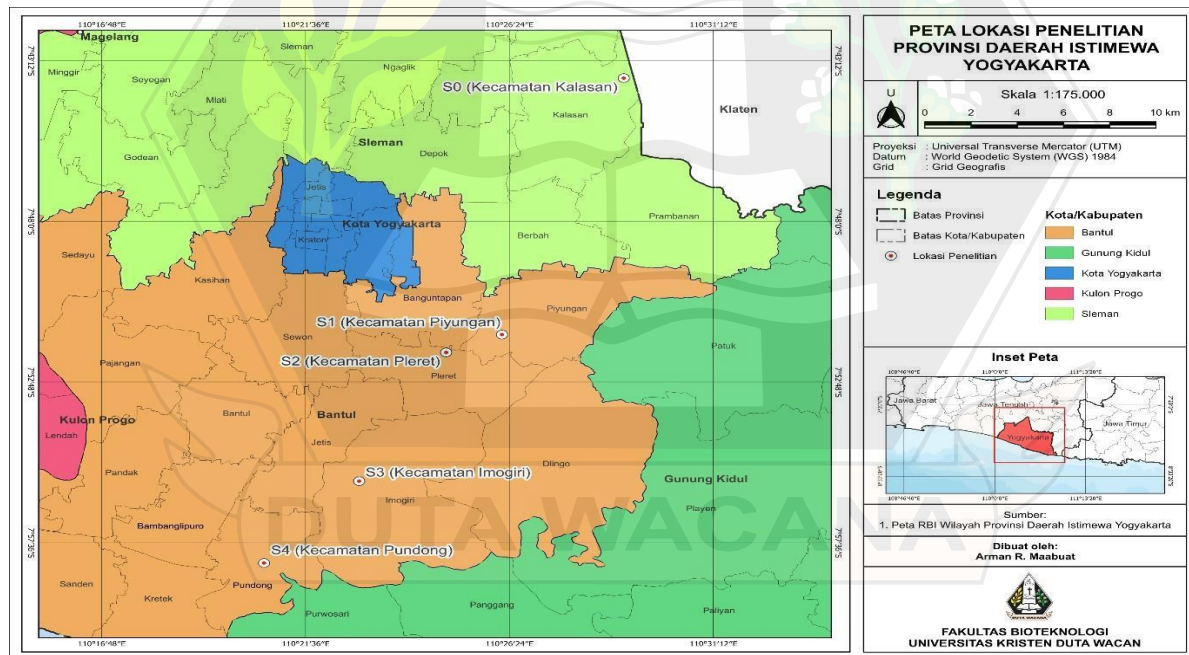
METODOLOGI

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan April hingga Juni 2022 dan terdiri atas empat tahapan. Tahap pertama adalah observasi dan penentuan lokasi sampling, diikuti dengan tahap pengambilan sampel dan pengukuran parameter lingkungan. Tahap ketiga meliputi preparasi dan ekstraksi sampel, sedangkan tahap terakhir adalah pengumpulan data dan penulisan laporan. Sampel diambil dari area persawahan yang dialiri Sungai Opak di Piyungan, Bantul, yang terdiri dari 5 stasiun penelitian. Air sampel diperoleh dari air irigasi. Preparasi dilakukan di Laboratorium Ekologi Fakultas Bioteknologi UKDW, sedangkan analisis Atomic Absorption Spectrometry (AAS) dilaksanakan di Laboratorium Kimia UII.

3.2 Desain Penelitian dan Lokasi Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan di area persawahan yang dilintasi Sungai Opak, Bantul. Penentuan titik sampling menggunakan metode *Purposive Random Sampling* berdasarkan karakteristik lingkungan dan aktivitas harian masyarakat setempat.



Gambar 1. Peta stasiun lokasi pengambilan sampel air irigasi, sedimen dan bulir padi.

Penelitian ini terdiri atas 5 titik sampling, di mana pada setiap titik dilakukan pengambilan sampel bulir padi, air irigasi, dan sedimen dari petak sawah yang berbeda dengan tiga kali pengulangan. Titik 0 berfungsi sebagai stasiun kontrol, dengan sampel diambil dari lokasi sebelum area pabrik penyamakan kulit di Kecamatan Kalasan. Stasiun 1 terletak di kawasan industri penyamakan kulit di Kecamatan Piyungan, sedangkan stasiun 2 berada di Kecamatan Pleret, stasiun 3 di Kecamatan Imogiri, dan stasiun 4 di Kecamatan Pundong.

3.3 Parameter yang diukur

3.3.1 Pengukuran pH

Pengukuran parameter pH dilakukan menggunakan pH meter sesuai dengan SNI 066989.11-2004.

3.3.2 Pengukuran Suhu

Pengukuran parameter suhu dilakukan menggunakan alat termometer batang satuan derajat Celsius sesuai dengan standar SNI 066989.11-2004.

3.4 Bahan dan Alat

Pada penelitian ini alat yang digunakan adalah oven, lemari asam, erlenmeyer 100 mL dan 250 mL, labu ukur 10 mL, botol sampel, mortar, petri dish, pipet, pipet ukur, pipet tetes, kertas saring, gelas beker, botol film, sarung tangan, botol plastik, gayung, kompor listrik, timbangan digital, corong, plastik zip, termometer, pH meter, *cool box*, kertas label, kamera digital, dan AAS (Atomic Absorption Spectrophotometer).

Pada penelitian ini, bahan yang digunakan untuk proses ekstraksi dan preparasi sampel antara lain tanaman padi (akar, batang dan daun), air irigasi, sedimen, akuades, HCL pekat (Hydrochloride acid), HNO_3 pekat (Nitric Acid) dan HNO_3 1%.

3.5 Pengukuran Parameter

3.5.1 Teknik Pengambilan Sampel

3.5.1.1 Air Irigasi

Sampel air di ambil menggunakan botol plastik dan gayung, dilakukan pencucian menggunakan HNO_3 1% pada botol plastik sebelum pengambilan sampel air. Pengambilan air dilakukan menggunakan gayung dan dimasukkan ke dalam botol plastik hingga 1 liter air kemudian

diberikan 3 tetes HNO_3 1% sebagai larutan pengencer dan disimpan ke dalam *cool box* untuk menjaga kestabilan suhu.

3.5.1.2 Sedimen

Sampel sedimen diambil menggunakan sekop kemudian dimasukkan ke dalam plastik zip dan disimpan ke dalam *cool box*.

3.5.1.3 Bulir Padi

Sampel bulir padi dikumpulkan menggunakan teknik *hand collecting*. Setiap bagian tanaman, seperti akar, batang, daun, dan bulir padi, dipisahkan terlebih dahulu sebelum dimasukkan ke dalam plastik zip untuk penyimpanan.

3.6 Pengumpulan Data

3.6.1 Pengukuran Parameter

Pengukuran parameter fisik yaitu suhu diukur dengan termometer batang dengan menyelamkan termometer ke dalam air yang sebelumnya disimpan pada botol plastik. Kemudian pengukuran parameter kimia yaitu derajat keasaman (pH) diukur menggunakan pH meter dengan menyelamkan pada air yang sudah disimpan pada gelas beker.

3.6.2 Preparasi Sampel

Sampel padi yang sudah dikoleksi, dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 180°C kurang lebih selama 6 jam, sampel yang sudah dipanaskan kemudian dihaluskan dengan menggunakan mortar. Sampel yang sudah halus ditimbang hingga 2 gram dan dikumpulkan untuk proses ekstraksi. Proses sedimentasi dilakukan dengan terlebih dahulu membersihkan dari kotoran berupa kayu dan daun-daunan. Sampel kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 180°C kurang lebih selama 6 jam. Setelah dioven, 2 gram sampel dikoleksi untuk proses ekstraksi.

3.6.3 Ekstraksi Sampel

3.6.3.1 Ekstraksi Sampel Air

Pengukuran logam berat krom pada sampel air mengacu terhadap metode standar APHA/AWWA/WEF, 20th Edition, 2001. Pertama disiapkan sampel air 100 mL ke dalam erlenmeyer 250 mL, kemudian ditambahkan perlahan-lahan 10 mL nitrat pekat (HNO_3) ke dalam

sampel air yang sudah disiapkan. Tahap berikutnya adalah dengan memanaskan larutan diatas kompor hingga tersisa 20 mL air. Kemudian diulangi tahap pengukuran sebelumnya dengan ditambahkan 10 HNO₃ dan dipanaskan hingga cairan tersisa 20 mL. Langkah terakhir adalah dengan menyaring ekstrak ke dalam labu ukur 250 mL menggunakan kertas saring yang sudah dicuci dengan HNO₃ 1% dan ekstrak dari hasil penyaringan disimpan di dalam botol film yang telah dicuci dengan air akuades kemudian dianalisis kadar kromium menggunakan AAS.

3.6.3.2 Ekstraksi Sampel Sedimen dan Bulir Padi

Proses ekstraksi logam berat dari tanaman padi dan sedimen dilakukan menggunakan Metode RPA 200.2, (1994) dengan menerapkan metode *aqua regia digestible*, yaitu campuran larutan HCl pekat dan HNO₃ pekat dengan perbandingan 3:1 (v/v). Sebelum ekstraksi, berat kering setiap sampel diukur terlebih dahulu dengan menimbang 2gram sampel kering. Sampel tersebut kemudian ditambahkan secara perlahan dengan 18 mL HCl pekat dan 6 mL HNO₃ pekat di dalam erlenmeyer. Selanjutnya, sampel dipanaskan hingga volumenya berkurang menjadi 10 mL. Setelah pemanasan, sampel dikeluarkan dari pemanas dan didiamkan pada suhu kamar selama 10-15 menit. Proses ini diulangi dengan menambahkan larutan *aqua regia* hingga mencapai volume 10 mL. Ekstrak yang tersisa kemudian didinginkan hingga mencapai suhu ruangan.

Langkah terakhir adalah penyaringan ekstrak menggunakan kertas saring yang telah dicuci dengan HNO₃ 1%. Hasil penyaringan disimpan dalam botol film yang sebelumnya telah dibilas dengan air akuades. Kandungan kromium dalam ekstrak tersebut kemudian dianalisis menggunakan AAS tipe *flame*.

3.6.4 Analisis Kadar Logam Berat Kromium pada Sampel

Kadar kromium (Cr) hasil ekstraksi dianalisis menggunakan metode Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) di Laboratorium Universitas Islam Indonesia (UII). Pengukuran logam berat Cr dilakukan dengan menggunakan sumber radiasi berupa lampu katoda berpanjang gelombang 357,9 nm sesuai standar SNI 6989.16:2009. Data kandungan logam berat diperoleh dari hasil AAS, kemudian konsentrasi kromium dalam sampel dihitung menggunakan rumus berikut:

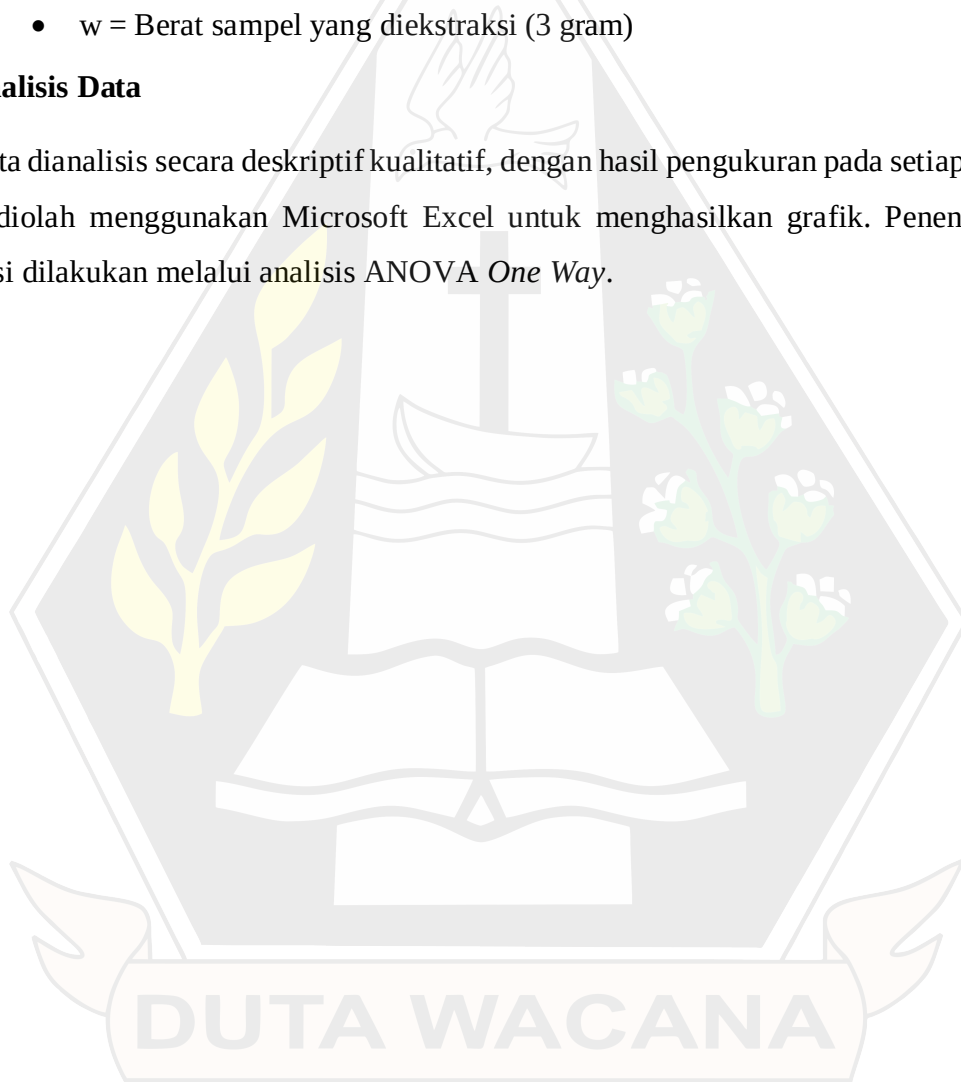
$$K = \frac{(C \times B) \times V}{W}$$

Dimana:

- K = Konsentrasi Cr (mg/kg)
- C = Konsentrasi sampel uji (mg/kg)
- B = Konsentrasi blanko (mg/kg)
- V = Volume akhir ekstrak (10 mL untuk sedimen dan biota, 50 mL untuk air)
- w = Berat sampel yang diekstraksi (3 gram)

3.7 Analisis Data

Data dianalisis secara deskriptif kualitatif, dengan hasil pengukuran pada setiap distribusi kromium diolah menggunakan Microsoft Excel untuk menghasilkan grafik. Penentuan nilai signifikansi dilakukan melalui analisis ANOVA *One Way*.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tingkat Kontaminasi Pencemar Kromium pada Area Persawahan

Areal persawahan di sepanjang aliran hilir Sungai Opak telah tercemar oleh polutan kromium. Kromium terdeteksi pada sampel air irigasi, sedimen, dan bulir padi dengan kisaran dan rata-rata konsentrasi masing-masing sebesar 0,064 – 0,146 ppm (rata-rata 0,108), 0,412 – 2,461 ppm (rata-rata 0,851), dan 0,108 – 2,762 ppm (rata-rata 0,440). Tabel 1 menyajikan gambaran tingkat kontaminasi kromium di area persawahan tersebut. Berdasarkan nilai rata-rata konsentrasi, kromium ditemukan dengan konsentrasi tertinggi secara berurutan pada sampel sedimen > bulir padi > air sawah.

Tabel 1. Tingkat Kontaminasi Pencemar Kromium

Jenis Sampel	Jumlah Sampel	Kisaran (ppm)	SD	Rerata	Baku Mutu (mg/L)
Air Sawah	15	0,064 – 0,146	0,015	0,108	0,05 ^[1]
Sedimen	15	0,412 – 2,461	0,513	0,851	2,5 ^[2]
Bulir Padi	15	0,108 – 2,762	0,829	0,440	1 ^[3]

Keterangan:

- [1] PERGUB DIY NO. 20 Tahun 2008
- [2] *Ministry of State for Population and Environment of Indonesia, and Dalhousie University, Canada* Tahun 1992.
- [3] *China's National Food Safety Standart of Maximum Levels Contaminants in Foods* Tahun 2012.

Tabel 1 menunjukkan nilai konsentrasi kromium dari masing-masing sampel yakni sampel air sawah, sedimen dan bulir padi. Pada sampel air sawah dengan jumlah 15 sampel menunjukkan kisaran konsentrasi Cr dari stasiun kontrol hingga stasiun terakhir yaitu 0,064 ppm – 0,146 ppm, diketahui hasil standar deviasi yaitu 0,015 dengan rerata yang didapatkan adalah 0,108 ppm. Pada sedimen atau tanah sawah dengan jumlah 15 sampel didapatkan konsentrasi Cr dari kelima stasiun yaitu berkisar 0,412 ppm – 2,461 ppm, diketahui hasil standar deviasi dari sampel sedimen yaitu 0,513 dan rerata konsentrasi Cr sampel sedimen yang didapatkan adalah

0,851 ppm. Kemudian pada sampel bulir padi sebanyak 15 sampel diketahui konsentrasi Cr adalah 0,108 ppm – 2,762 ppm, diketahui nilai standar deviasi yaitu 0,829 dan hasil rerata konsentrasi Cr dari sampel bulir padi yang didapatkan adalah 0,440 ppm.

Hasil analisis konsentrasi kromium menunjukkan bahwa kandungan kromium pada sampel bulir padi tidak melebihi ambang batas yang telah ditetapkan. Dengan demikian, kadar kromium dalam bulir padi masih berada di bawah standar yang ditetapkan oleh *China's National Food Safety Standard of Maximum Levels Contaminants in Food* tahun 2012, yaitu 1 mg/kg. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa semua sampel bulir padi dari lima stasiun uji masih berada dalam batas normal dan tergolong dalam kategori pencemaran ringan. Sementara itu, hasil konsentrasi kromium pada sedimen yang tercantum dalam Tabel 1 menunjukkan bahwa semua sampel sedimen dari seluruh stasiun juga berada di bawah ambang batas baku mutu yang ditetapkan oleh *Ministry of State for Population and Environment of Indonesia* dan *Dalhousie University, Canada* (1992), yaitu 2,5 ppm. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa kondisi tanah di area tersebut masih layak digunakan sebagai lahan pertanian.

Hasil analisis konsentrasi kromium pada sampel air sawah atau air irigasi yang disajikan pada tabel 1 menunjukkan bahwa kadar kromium telah melampaui ambang batas yang ditetapkan dalam PERGUB DIY No. 20 Tahun 2008 untuk baku mutu limbah sungai kelas II, yaitu 0,05 mg/L. Hal ini menandakan bahwa kromium dalam air berpotensi menjadi pencemar lingkungan. Kondisi ini perlu mendapat perhatian khusus mengingat Sungai Opak merupakan salah satu sumber air bersih yang digunakan untuk irigasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rata-rata konsentrasi kromium pada air irigasi telah melampaui batas yang diperbolehkan. Apabila sumber pencemar kromium yang masuk ke perairan Sungai Opak tidak ditangani dengan pengolahan yang sesuai standar, maka kualitas air sungai tersebut berisiko menurun secara signifikan. Hal ini dapat menyebabkan kerusakan serius pada ekosistem sungai dan berdampak buruk bagi masyarakat, khususnya di wilayah Bantul, yang mayoritas memanfaatkan aliran Sungai Opak sebagai sumber irigasi untuk pertanian.

4.2 Perbedaan Tingkat Pencemaran Krom Berdasarkan Lokasi Pengambilan Sampel

Terdapat 5 lokasi pengambilan sampel yaitu pada 5 kecamatan berbeda diantaranya adalah kecamatan Kalasan sebagai titik kontrol, kecamatan Piyungan, kecamatan Pleret, kecamatan Imogiri dan kecamatan Pundong yang masing-masing kecamatan tersebut dilintasi

oleh aliran sungai Opak yang terkontaminasi logam berat kromium. Telah ditemukan pencemar kromium pada sampel air irigasi, sedimen dan bulir padi dengan kisaran dan rerata secara berurutan sebesar 0,095 – 0,120 ppm (rerata 0,108), 0,585 – 1,382 ppm (rerata 0,851) dan 0,112 – 1,005 ppm (rerata 0,440). Pada tabel 2 memberikan gambaran perbedaan tingkat pencemaran kromium di setiap lokasi pengambilan sampel.

Tabel 2. Hasil Uji Anova Kadar Kromium di Semua Stasiun

Lokasi	Kadar Kromium (ppm)		
	Air Irigasi Rerata ($\pm$ SD)	Sedimen Rerata ($\pm$ SD)	Bulir Padi Rerata ($\pm$ SD)
Kalasan (Kontrol)	0,108 $\pm$ 0,000	0,900 $\pm$ 0,461	0,112 $\pm$ 0,004
Piyungan (S1)	0,120 $\pm$ 0,021	1,382 $\pm$ 0,935	0,121 $\pm$ 0,011
Pleret (S2)	0,110 $\pm$ 0,004	0,585 $\pm$ 0,142	0,131 $\pm$ 0,020
Imogiri (S3)	0,108 $\pm$ 0,000	0,739 $\pm$ 0,286	1,005 $\pm$ 1,521
Pundong (S4)	0,095 $\pm$ 0,027	0,650 $\pm$ 0,206	0,831 $\pm$ 1,158

*rerata ($\pm$ SD) konsentrasi krom pada sampel diperoleh dari hasil statistik ANOVA *One Way*.

Pada tabel 2. ditunjukkan bahwa nilai konsentrasi pada bulir padi yang diambil dari 5 titik stasiun dengan 5 kecamatan berbeda dapat diketahui dari stasiun kontrol sampai stasiun 4 memiliki nilai konsentrasi krom yang bervariasi berkisar antara 0,112 – 1,005 ppm. Hasil konsentrasi krom dari keseluruhan stasiun diketahui bahwa pada stasiun 3 memiliki nilai konsentrasi kromium yang lebih tinggi dari 4 stasiun lainnya. Nilai konsentrasi kromium pada stasiun kontrol hingga stasiun 2 tidak memiliki perbedaan yang signifikan, kemudian pada stasiun 3 mengalami kenaikan yang signifikan dan mengalami penurunan pada stasiun 4. Kondisi tersebut menjelaskan bahwa pada stasiun 3 tanaman padi mempunyai kemampuan dalam menyerap kromium dengan kadar yang lebih tinggi dari tanah yang diangkut ke dalam akar. Hal tersebut menjelaskan bahwa masih ada cemaran logam berat kromium di sepanjang aliran kali Opak bahkan pada lokasi pengambilan sampel bulir padi yang keberadaannya sudah jauh dari lokasi pembuangan limbah pabrik penyamakan kulit. Adanya penurunan dan kenaikan dari nilai konsentrasi logam berat kromium (Cr) di setiap stasiun disebabkan oleh beberapa faktor antara lain adalah faktor jenis tanaman padi, kemampuan tanaman menyerap logam berat kromium dari akar, serta faktor pencemar lainnya adalah penggunaan bahan kimia seperti pestisida dan juga

pupuk fosfor (P) yang memiliki kromium. Pramono dan Wahyuni (2008) menjelaskan bahwa pemakaian bahan kimia pestisida dalam menanggulangi hama penyakit berpotensi mencemarnya tanah, air dan tanaman oleh logam berat. Menurut Setyorini (2003) bahwa dalam pembuatan pupuk yang memakai sumber P(fosfor) menggunakan bahan baku dari logam, sehingga berpotensi adanya pencemaran logam berat di lahan pertanian. Darmono (1995) menjelaskan logam berat yang terakumulasi dalam tanaman bersumber dari kandungan logam berat yang berasal dari tanah yang sudah terjadi bioakumulasi, tinggi rendahnya nilai pH, jenis tanaman, keadaan unsur kimia tanah serta karakteristik dari logam berat sendiri.

Nilai konsentrasi Cr pada sampel air irigasi yang ditunjukkan pada tabel 2 memiliki nilai yang bervariasi. Rata – rata konsentrasi kromium pada air irigasi atau air sawah yaitu berkisar antara 0,095 – 0,120 ppm. Hasil konsentrasi dari keseluruhan titik stasiun dapat dilihat bahwa pada stasiun 1 memiliki konsentrasi kromium yang lebih tinggi dibandingkan dengan stasiun kontrol kemudian mengalami penurunan pada stasiun 2, 3 dan 4. Hal tersebut diketahui bahwa pada stasiun 1 lokasi pengambilan sampel air masih dekat dengan lokasi pembuangan limbah pabrik penyamakan kulit, oleh sebab itu sumber irigasi dari aliran sungai Opak sudah tercampur langsung oleh paparan logam berat kromium. Dengan demikian pola sebaran kromium menunjukkan bahwa semakin jauh lokasi pengambilan sampel dari sumber paparan logam berat kromium kadarnya semakin menurun. Nusa (2008) menyatakan bahwa penyebaran logam berat kromium ke lahan pertanian terjadi melalui aliran air yang berasal dari pembuangan limbah industri langsung ke badan air. Logam berat ini kemudian terbawa, tersebar, dan berpindah ke lahan pertanian melalui aliran permukaan (*surface run-off*) serta aliran bawah permukaan (*subsurface run-off*). Faktor lain yang memengaruhi perbedaan konsentrasi kromium di setiap stasiun adalah proses pengendapan dan sedimentasi. Taftazani (2007) berpendapat bahwa berbagai reaksi kimia, seperti reaksi oksidasi-reduksi (redoks), berperan dalam mengendapkan kromium ke dalam sedimen sehingga konsentrasi kromium di perairan cenderung lebih rendah.

Tabel 2 menunjukkan bahwa konsentrasi kromium pada tanah sawah atau sedimen bervariasi di setiap stasiun yang diuji, dengan kisaran rata-rata antara 0,585 – 1,382 ppm. Dari hasil tersebut, diketahui bahwa konsentrasi kromium tertinggi ditemukan pada stasiun 1 dibandingkan dengan stasiun lainnya. Menurut Notodarmojo (2005), tingkat pencemaran logam berat pada tanah akan meningkat seiring dengan tingginya konsentrasi logam tersebut. Hal ini

berkaitan dengan hubungan antara polutan dan sumbernya, di mana konsentrasi polutan cenderung lebih tinggi di lokasi yang lebih dekat dengan sumber pencemaran. Pada stasiun 1, lokasi pengambilan sampel sedimen berada di sekitar area pembuangan limbah cair dari industri penyamakan kulit yang masih menjadi aktivitas dominan di wilayah tersebut. Konsentrasi kromium mengalami penurunan pada stasiun berikutnya. Namun, pada stasiun kontrol, konsentrasi kromium justru lebih tinggi dibandingkan stasiun 2, 3, dan 4. Konsentrasi terendah ditemukan pada stasiun 2 dengan nilai 0,585 ppm. Soepardi (1993) menjelaskan bahwa fluktuasi kadar kromium antar stasiun disebabkan oleh faktor kimia tanah, proses oksidasi-reduksi dalam tanah, serta kandungan bahan organik di dalamnya. Kandungan logam berat kromium tertinggi ditemukan pada sedimen atau tanah sawah jika dibandingkan dengan konsentrasi kromium di air dan padi. Menurut Harahap (1991), hal ini disebabkan oleh karakteristik kromium yang mudah berikatan dengan bahan organik dan cenderung mengendap di dasar perairan. Akibatnya, kromium akan menyatu dengan lapisan sedimen sehingga konsentrasinya pada sedimen lebih tinggi dibandingkan di air. Purniawati (2009) turut menegaskan bahwa jenis tanah juga berperan penting dalam memengaruhi reaksi yang terjadi pada logam berat di lingkungan.

Tabel 3. Karakteristik Kualitas Air Irigasi Sawah

Parameter	Satuan	Stasiun Sampling					Baku mutu (ppm)
		Kontrol	S1	S2	S3	S4	
Suhu	°C	28	32	30	29	29	±3 ^[1]
pH air	-	7,66	8,07	7,86	7,83	7,77	6-8,5 ^[1]
pH tanah	-	6,89	7,34	6,53	6,96	6,13	7 ^[4]

Pada tabel 3 ditunjukkan parameter fisik dan kimia pada air dan sedimen dari lokasi persawahan yang dilakukan pengujian. Derajat keasaman (pH) merupakan parameter kimia pada air dan sedimen sedangkan temperatur atau suhu sebagai parameter fisik. Nilai pH akan terus berubah-ubah dalam waktu tertentu tergantung pada faktor yang mempengaruhinya. Faktor yang mempengaruhinya antara lain suhu, proses pelapukan pada bahan organik serta unsur lain yang berada dalam perairan, (Sudewa & Hadiatna, 2017). pH optimum berada di angka 7, dimana semakin kecil (bersifat asam) nilai pH pada tanah akan mempengaruhi logam pada tanaman dan unsur hara di tanah semakin mudah terakumulasi. Begitu pun semakin rendah nilai pH pada air akan menyebabkan kation logam Cr pada air semakin cepat terlarut. Effendi, (2003) menjelaskan

bahwa apabila suhu semakin meningkat akan mengakibatkan terjadinya penurunan terhadap oksigen terlarut yang menyebabkan jumlah oksigen terlarut di perairan tidak seimbang dan mengganggu organisme dalam proses respirasi dan metabolisme.

Parameter pertama yang diuji adalah parameter fisik berupa suhu air irigasi. Berdasarkan hasil yang disajikan pada Tabel 3, suhu air irigasi berkisar antara 28°C – 32°C. Hasil pengujian menunjukkan bahwa suhu tertinggi tercatat pada stasiun 1, sedangkan suhu terendah terdapat pada stasiun kontrol. Jika suhu pada stasiun 1 dibandingkan dengan baku mutu yang ditetapkan dalam Pergub DIY Tahun 2008 terkait suhu optimum untuk perairan kelas II, maka hasil tersebut telah melebihi batas yang ditentukan, yaitu $\pm 3^\circ\text{C}$. Kenaikan suhu ini dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan waktu pengambilan sampel. Sebagian besar sampel diambil pada siang hari, yang berpotensi meningkatkan suhu air. Menurut Effendi (2003), suhu suatu perairan dapat dipengaruhi oleh faktor seperti lintang (latitude), musim, ketinggian dari permukaan laut (altitude), sirkulasi udara, dan kedalaman air. Sarjono (2009) menambahkan bahwa peningkatan suhu dapat mempercepat proses pelarutan logam berat dalam waktu yang relatif singkat.

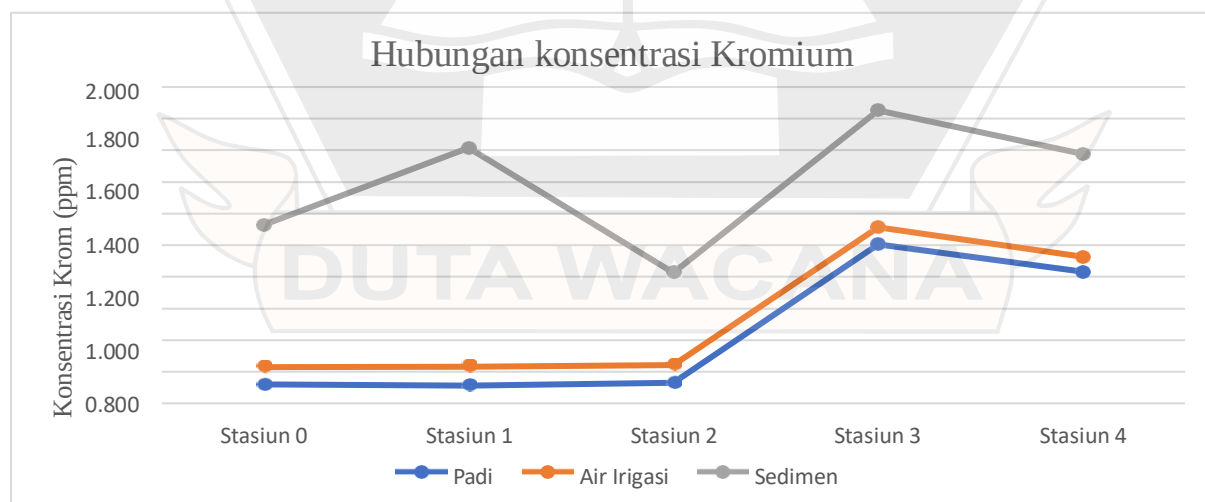
Parameter kedua yang diuji adalah parameter kimia berupa pH air. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai pH air irigasi pada stasiun kontrol hingga stasiun 4 berkisar antara 7,66 – 8,07. Berdasarkan Tabel 1, nilai pH tertinggi tercatat pada stasiun 1, sedangkan nilai pH terendah terdapat pada stasiun kontrol. Pada stasiun 1, nilai pH yang mencapai 8,07 sudah melebihi pH normal air permukaan dan tergolong dalam kondisi basa. Peningkatan nilai pH ini menandakan adanya penurunan senyawa organik di perairan. Menurut Akoto et al. (2008), hal tersebut disebabkan oleh tingginya kandungan karbonat dan bikarbonat terlarut yang berperan sebagai faktor penentu pH pada perairan. Wulandari (2012) menjelaskan bahwa jika pH air berada dalam kondisi basa, dapat terbentuk senyawa kompleks yang mengubah kromium dari bentuk karbonat menjadi hidroksida yang sulit larut dalam air. Senyawa ini akan terus berikatan dengan partikel air hingga akhirnya mengendap dan membentuk lumpur. Meskipun terjadi kenaikan pH, nilai tersebut masih berada dalam kisaran yang sesuai dengan baku mutu perairan kelas II berdasarkan Pergub DIY No. 20 Tahun 2008, yaitu 6 – 8,5. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa kondisi pH air irigasi cenderung tidak berpengaruh signifikan terhadap konsentrasi logam berat kromium.

Parameter uji yang ketiga adalah parameter kimia pH tanah. Hasil pada tabel 1

menunjukkan bahwa kondisi pH dari seluruh stasiun yaitu 6,13 – 7,34 pH. Dari keseluruhan pola distribusi nilai pH tanah dapat dilihat bahwa pada stasiun kontrol, 2,3 dan 4 berada pada kondisi masam, sedangkan pada stasiun 1 kondisi pH berada pada keadaan normal. pH dalam kondisi asam akan berpengaruh terhadap peningkatan toksisitas dari logam berat. Menurut Soepardi (2009) unsur hara dalam tanah optimal tersedia pH 7. Mengindikasikan bahwa pada lahan persawahan, tanah sawah secara keseluruhan masih mendekati nilai pH optimum. Widyawati (2013) juga menjelaskan bahwa mikroorganisme bereaksi terhadap terdapat akar tanaman sehingga mentransfer oksigen hasil dari proses respirasi yang nantinya mengakibatkan penurunan pH tanah menjadi masam. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa nilai pH tanah yang dilakukan pengujian tidak mempengaruhi nilai konsentrasi kromium (Cr) pada tanaman padi.

4.3 Hubungan Konsentrasi Kromium Dalam Air Irigasi dan Sedimen terhadap Akumulasi Kromium Pada Bulir Padi di Sepanjang Sungai Opak

Gambar 2 menampilkan grafik yang didasarkan pada tabel 2 untuk melihat apakah terdapat hubungan antara konsentrasi logam berat dalam air irigasi dan sedimen terhadap konsentrasi krom pada bulir padi. Dari grafik tersebut terlihat bahwa pola penyebaran logam berat bervariasi di setiap stasiunnya. Konsentrasi kromium (Cr) pada sedimen menunjukkan peningkatan dari stasiun kontrol ke stasiun 1, kemudian mengalami penurunan dari stasiun 1 ke stasiun 2. Berbeda dengan pola tersebut, pada stasiun 2 hingga stasiun 4, pola penyebaran Cr pada tanaman padi, sedimen, dan air cenderung serupa di setiap stasiunnya.



Gambar 2. Grafik distribusi konsentrasi kromium terhadap air irigasi, sedimen dan bulir padi.

Berdasarkan grafik yang ditampilkan, terlihat bahwa konsentrasi kromium (Cr) tertinggi ditemukan pada sampel sedimen di semua stasiun, sedangkan konsentrasi terendah terdapat pada sampel air irigasi dan bulir padi. Pencemaran lingkungan di sekitar pabrik pengolahan kulit dipicu oleh pembuangan limbah yang tidak terkendali. Grafik menunjukkan bahwa konsentrasi kromium pada sampel sedimen memiliki pola yang fluktuatif dari stasiun nol hingga stasiun 4. Tingginya konsentrasi logam berat Cr juga dapat dipengaruhi oleh aktivitas masyarakat di sekitar lokasi, seperti pembuangan limbah rumah tangga yang mengandung Cr ke badan air. Limbah tersebut termasuk peralatan rumah tangga dan kaleng cat yang dilapisi logam Cr. Kegiatan seperti pengecatan rumah dan perbaikan perahu juga berkontribusi pada peningkatan konsentrasi kromium akibat sisa cat atau limpasan cat yang masuk ke badan air. Palar (1994;2008) menyatakan bahwa logam Cr banyak digunakan sebagai bahan pelapis dan pewarna pada cat.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan logam berat kromium (Cr) pada sedimen jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kandungannya pada air irigasi dan bulir padi. Hal ini terjadi karena Cr cenderung mudah berikatan dengan bahan organik, mengendap di dasar perairan, dan menyatu dengan sedimen, sehingga konsentrasinya pada sedimen menjadi lebih tinggi dibandingkan pada air (Harahap, 1991). Selain itu, ukuran butiran sedimen juga memengaruhi kandungan logam berat di dalamnya. Menurut Maskulah (2013), semakin halus ukuran butiran sedimen, semakin tinggi pula kandungan bahan anorganik dan organiknya. Sedimen berukuran halus memiliki kemampuan yang lebih besar dalam mengakumulasi zat anorganik dan organik. Endapan lumpur yang kaya akan bahan anorganik seperti logam berat Cr berperan dalam tingginya kandungan Cr pada stasiun 1 dan stasiun 3 karena endapan di kedua stasiun tersebut didominasi oleh pasir berlumpur berukuran sangat halus. Jika dibandingkan dengan standar logam berat Cr dalam sedimen yang ditetapkan oleh ANZECC (*Australia New Zealand Environmental Conservation Council*) tahun 2000, yaitu 80,0 hingga 120 mg/kg, maka kandungan Cr di seluruh stasiun pengamatan telah melampaui ambang batas yang ditentukan.

Grafik yang ditampilkan menunjukkan bahwa pola distribusi konsentrasi Cr pada padi dan air irigasi yang serupa, di mana konsentrasi Cr cenderung stabil dari stasiun 0 hingga stasiun 2, sementara pada stasiun 3 hingga stasiun 4 terjadi fluktuasi. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat hubungan antara konsentrasi kromium pada tanah sawah atau

sedimen dengan bulir padi. Namun, terdapat hubungan antara konsentrasi kromium pada air irigasi dengan kandungan Cr pada bulir padi.

Syarat untuk melihat adanya pengaruh antara konsentrasi krom pada air irigasi dan tanah sawah terhadap konsentrasi krom pada bulir padi maka perlu dilakukan uji korelasi pearson. Berdasarkan analisis korelasi, nilai signifikan menunjukkan ada atau tidaknya pengaruh terhadap variabel bebas (Konsentrasi krom pada air irigasi dan sedimen) dan variabel terikat (bulir padi).

Tabel 4. Uji Korelasi Antara Konsentrasi Kromium pada Air Irigasi dan Sedimen terhadap Bulir Padi

Jenis Sampel	Koefisien Korelasi (R)	Sig.
Air Irigasi	0,031	0,912
Sedimen	-0,182	0,516

Uji korelasi yang disajikan pada Tabel 4, diketahui bahwa hubungan antara konsentrasi kromium (Cr) pada air sawah dan kandungan logam berat pada bulir padi memiliki nilai signifikansi (sig. 2-tailed) sebesar 0,912. Nilai ini lebih besar dari 0,05, yang berarti tidak terdapat korelasi yang signifikan antara kedua sampel tersebut. Selain itu, hasil uji korelasi Pearson (nilai R) pada Tabel 4 menunjukkan nilai sebesar 0,031. Nilai ini mengindikasikan bahwa meskipun hubungan antara kedua variabel bersifat positif, korelasi tersebut sangat lemah dan tidak signifikan. Apabila dibandingkan dengan derajat hubungan maka (nilai **R**) (0,031) berada antara 0,021 s/d 0,040 yang artinya korelasi sangat lemah.

Berdasarkan Tabel 4, hasil uji korelasi menunjukkan bahwa hubungan antara konsentrasi kromium (Cr) pada sedimen dengan konsentrasi Cr pada bulir padi memiliki nilai signifikansi (sig. 2-tailed) sebesar 0,516. Nilai ini lebih besar dari 0,05, yang berarti tidak terdapat korelasi signifikan antara kedua sampel tersebut. Hasil uji korelasi Pearson (nilai R) menunjukkan angka -0,182, yang menandakan adanya hubungan negatif antara kedua variabel. Artinya, semakin tinggi konsentrasi Cr pada tanah sawah, semakin rendah konsentrasi Cr pada bulir padi, dan sebaliknya. Jika dibandingkan dengan derajat hubungan pada sampel yang berada pada rentang

-0,171 hingga -0,190, nilai tersebut menunjukkan bahwa korelasi yang terjadi tergolong sangat lemah. Perbedaan konsentrasi Cr pada sedimen, air sawah, dan bulir padi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti jenis tanaman, kondisi kimia tanah, pemupukan, serta penggunaan pestisida secara berkelanjutan. Menurut Palar (1994), kondisi tanah dengan pH rendah dapat meningkatkan kelarutan logam berat Cr, yang berpotensi memengaruhi perbedaan konsentrasi Cr pada berbagai sampel tersebut.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan di areal lahan persawahan sepanjang hilir aliran sungai Opak maka dapat diambil kesimpulan bahwa:

5.1.1 Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi pencemaran logam berat kromium pada semua sampel yang diambil dari 5 titik stasiun di lima kecamatan berbeda, diketahui sudah terkontaminasi oleh logam berat krom (Cr) dengan kisaran konsentrasi pada masing-masing sampel yaitu bulir padi berkisar 0,108 – 2,762 ppm (rerata 0,440), air irigasi berkisar 0,064 – 0,146 ppm (rerata 0,108) dan konsentrasi pada tanah sawah yaitu berkisar 0,412 – 2,461 ppm (rerata 0,851). Sehingga pada sampel bulir padi dan sedimen tingkat paparan pencemar masih tergolong aman jika dibandingkan dengan nilai baku mutu yang ditetapkan, sedangkan pada sampel air irigasi berdasarkan nilai konsentrasi yang diuji adalah tergolong tidak aman karena sudah melewati standar baku mutu yang sudah ditetapkan pemerintah.

5.1.2 Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan tingkat konsentrasi pencemar berdasarkan lokasi pengambilan sampel. Pada masing-masing sampel bulir padi, sedimen dan air irigasi diketahui nilai konsentrasi kromium yang diambil dari 5 titik stasiun di 5 kecamatan berbeda memiliki nilai konsentrasi yang bervariasi. Diantaranya sampel tanah sawah memiliki konsentrasi paling tinggi yaitu pada stasiun 1 (Kec. Piyungan) dengan nilai konsentrasi 1,382 ppm, diikuti dengan stasiun 2 (Kec. Pleret) dengan nilai konsentrasi paling rendah yaitu 0,585 ppm. Pada sampel air irigasi nilai konsentrasi tertinggi berada pada stasiun 1 (Kec. Piyungan) yaitu 0,120 ppm dan konsentrasi krom terendah berada pada stasiun 4 (Kec. Pundong) yaitu 0,095 ppm. Sedangkan pada bulir padi, konsentrasi krom paling tinggi terdapat di stasiun 3 (Kec. Imogiri) dengan nilai konsentrasi 1,005 ppm dan stasiun kontrol (Kec. Kalasan) dengan nilai konsentrasi krom terendah yaitu 0,112 ppm.

5.1.3 Korelasi menunjukkan bahwa konsentrasi krom pada air irigasi dan tanah sawah secara bersamaan tidak memiliki hubungan secara signifikan terhadap akumulasi krom pada bulir padi. Tetapi nilai korelasi R pada sampel air irigasi menunjukkan hubungan yang positif.

5.2 Saran

Menanggapi permasalahan ini, disarankan agar dilakukan penelitian berkelanjutan atau berkala guna memantau perkembangan distribusi logam berat kromium di area persawahan. Hal ini penting mengingat kawasan tersebut merupakan sumber bahan pangan utama bagi masyarakat setempat. Penelitian lanjutan juga perlu melakukan pemantauan (*monitoring*) terhadap konsumsi beras yang berasal dari wilayah terdampak pencemaran. Langkah ini bertujuan untuk menilai potensi risiko kesehatan melalui asupan pangan (*dietary risk assessment*) serta mengidentifikasi kandungan logam berat yang mungkin berasal dari sumber lain seperti pemupukan dan penggunaan pestisida. Selain itu, pemerintah diharapkan melakukan evaluasi ulang terhadap standar batas maksimum cemaran kromium pada tanah, air sungai, dan tanaman konsumsi guna memastikan keamanan pangan dan kelestarian lingkungan.



DAFTAR PUSTAKA

- Akoto, O., Bruce, T. N., Darkol, G. 2008, *Heavy metals pollution profiles in streams serving the Owabi reservoir*. African Journal of Environmental Science and Technology, 2 (11): 354-359.
- Australian and New Zealand Environment and Conservation (ANZECC), 2000. *ANZECC Interim Sediment quality Guidelines, Report for the Environmental Research Institute of the Supervising Scientist*. Sydney, Australia: ANZECC ISQC-Low
- Bacordit, A., Armengol, J., Burgh, S. V. D., & Olle, L. (2014). New challenges in chrome free leathers: Development of wet-bright process. *Journal of the American Leather Chemist Association*, 109(4), 99–109.
- Cui S, Zhou Q, Chao L (2007) *Potential hyperaccumulation of Pb, Zn, Cu and Cd in enduring plants distributed in an old smeltery, northeast China*. *Environ Geol* 51: 1043–1048.
- Darmono. (1995). *Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. Penerbit UIPress. Jakarta.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan Perairan*. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.
- Giacinta, M., Salimin, Z., & Junaidi, J. (2013). *Pengolahan logam berat krom (Cr) pada limbah cair industri penyamakan kulit dengan proses koagulasi dan presipitasi*. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 2(2), 1–8.
- Harahap, S. 1991. *Tingkat Pencemaran Air Kali Cakung Ditinjau dari Sifat Fisika Kimia Khususnya Logam Berat dan Keanekaragaman Jenis Hewan Benthos Makro*. IPB. 167 hal.
- Jan S., Javid Ahmad Parray. (2016). *Approaches to Heavy Metal Tolerance in Plants*. India: Springer Science.
- Maskulah, L. 2013. *Hubungan Antara Konsentrasi Logam Berat Pb, Cd, Cu, Zn dengan Bahan Organik dan ukuran Butir dalam Sedimen di Estuari Banjir Kanal Barat, Semarang*. *Buletin Oseanografi Marina*, Vol. 2, Hal. 55-62.
- Mishra S., R. S. Dubey. (2006). “*Heavy Metal Uptake and Detoxification Mechanisms in Plants*” in *International Journal of Agricultural Research*, Vol. 1, No. 2, Pg. 122-141.
- Murti, R. S., Purwanti, C. M. dan Suyatini. (2013). *Adsorpsi Amonia dari Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit Menggunakan Abu Terbang Bagas*. *Majalah Kulit, Karet dan Plastik* Yogyakarta, 29, 85-90.
- Mustakim, M., Aris, S., & Kurniawan, A. P. (2010). *Perbedaan kualitas kulit kambing peranakan etawa (PE) dan peranakan boor (PB) yang disamak krom*. *Jurnal Ternak Tropika*, 11(1), 38-50.
- Nurfitriyani, A., Wardhani, E., & Dirgawati, M. (2014). *Penentuan efisiensi penyisihan kromium heksavalen (Cr⁶⁺) dengan adsorpsi menggunakan tempurung kelapa secara kontinyu*. *Reka Lingkungan*, 1(2), 1–12.

- Nusa Idaman. (2008). *Pengelolaan Air Limbah Domestik di DKI Jakarta*. Jakarta: Pusat Teknologi Lingkungan.
- Palar, H. 1994; 2008. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Rineka Cipta, Jakarta.
- Perdana, M., Widodo, D. S., & Prasetya, N. B. A. (2013). *Fotoelektrokatalisis kromium (VI) menjadi kromium (III) dengan menggunakan elektroda timbal dioksida (PbO₂)*. Chem Info Journal, 1(1), 11–17.
- Pramono, A & Wahyuni, S. (2008). *Kandungan logam berat pada sistem integrasi tanaman ternak di DAS Serang*. Prosiding Seminar Nasional Teknik Pertanian. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Rahmadani. (2018). *Adsorpsi Logam Kromium (Cr) Pada Limbah Cair Usaha Sablon Menggunakan Biomassa Eceng Gondok (Eichhornia crassipes)*. Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar: Skripsi Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi.
- Rahmawati, R., & Suhendar, D. (2015). *Sintesis nanokomposit γ -Al₂O₃-Fe₂O₃ untuk adsorpsi logam Cr (VI)*. Jurnal Istek, 8(1), 117–128
- Rochyatun. dan A. Rozak, 2007. *H. 2003. et Digestion Methods. Comprehensive analytical*
- Sarjono. (2009). *Analisis Kandungan Logam Berat Cd, Pb dan Hg Pada Air dan Sedimen di Perairan Kamal Muara*. Jakarta Utara. Skripsi. Institut Pertanian Bogor.
- Setyorini, D., Soeparto, dan Sulaeman. (2003). *Kadar logam berat dalam pupuk*. Hlm. 219- 229. Dalam Prosiding Seminar Nasional Peningkatan Kualitas Lingkungan dan Produk Pertanian: Pertanian Produktif Ramah Lingkungan Mendukung Ketahanan dan Keamanan Pangan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Singh S., Vaishali Yadav., Namira A., Vijay P. S., Nawal K. D., Naleeni R., Rajendra P., Shivendra S., Durgesh K. T., Devendra K. C. (2020). “*Heavy Metal Stress and Plant Life: Uptake Mechanisms, Toxicity, and Alleviation*” in *Plant Life Under Changing Environment*, pg 271-287.
- Taftazani, A. (2007). *Distribusi Konsentrasi Logam Berat Hg dan Cr pada Sampel Lingkungan Perairan Surabaya*. Prosiding PPI-PDIPTN 2007 Pustek Akselerator dan Proses Bahan – BATAN Yogyakarta. Yogyakarta.
- U.S. EPA (1994). *Method 200.2 Sample Preparation Procedure for Spectrochemical Determination of Total Recoverable Elements*. Ohio: Environmental Monitoring Systems Laboratory Office of Research and Development.
- Vaskova, H., Kolomaznik, K., & Vasek, V. (2013). *Hydrolysis process of collagen protein from tannery waste material for production of biostimulator and its mathematical model*. International Journal of Mathematical Models and Applied Sciences, 7(5), 568–575.
- Widyawati, R. (2013). *Pengaruh Jarak dan Umur Tanaman Purun Tikus (Eleocharis Dulcis) Menggunakan Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetland dalam Penurunan Besi*

(Fe) dan Mangan (Mn) pada Air Asam Tambang. Universitas Lampung Mangkurat. Banjarbaru.

Wulandari. (2012). *Kandungan Logam Berat Pb pada Air Laut dan Tiram Saccostrea glomerata sebagai Bioindikator Kualitas Perairan Prigi, Trenggalek, Jawa Timur*. J. Penelitian Perikanan. 9(2):3-8.

Wu, C., Zhang, W., Liao, X., Zeng, Y., & Shi, B. (2014). *Transposition of chrome tanning in leather making*. *Journal of the American Leather Chemist Association*, 109(6), 176–183.

Yoon J, Cao XD, Zhou QX, Ma LQ (2006) *Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site*. *Sci Total Envir* 368: 456–464.

