

**Fitoremediasi Besi (Fe) Limbah Domestik Sungai Code oleh
Cyperus papyrus L. dengan Dukungan *Plant Growth-Promoting
Rhizobacteria* (PGPR)**

SKRIPSI



Iki Lunisa

31200383

Program Studi Biologi

Fakultas Bioteknologi

Universitas Kristen Duta Wacana

Yogyakarta

2025

**Fitoremediasi Besi (Fe) Limbah Domestik Sungai Code oleh
Cyperus papyrus L. dengan Dukungan *Plant Growth-Promoting
Rhizobacteria* (PGPR)**

SKRIPSI

Diajukan Kepada Program Studi Biologi, Fakultas Nioteknologi
Universitas Kristen Duta Wacana



Iki Lunisa

31200383

**Program Studi Biologi
Fakultas Bioteknologi**

Universitas Kristen Duta Wacana

Yogyakarta

2025

PERNYATAAN PENYERAHAN KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Iki Lunisa
NIM/NIP/NIDN : 31200383
Program Studi : Biologi
Judul Karya Ilmiah : Fitoremediasi Besi (Fe) Limbah Domestik Sungai Code
oleh *Cyperus papyrus* L. dengan Dukungan *Plant Growth-Promoting Rhizobacteria* (PGPR)

dengan ini menyatakan:

- a. bahwa karya yang saya serahkan ini merupakan revisi terakhir yang telah disetujui pembimbing/promotor/reviewer.
- b. 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.
- c. 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.
- d. 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.
- e. 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.
- f. 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 metadata 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.

Yogyakarta, 5 November 2025

Mengetahui,

Yang menyatakan,

Dr. Dhira Satwika, M.Sc.
NIDN/NIDK : 904 E 146



Iki Lunisa
NIM : 31200383

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi dengan Judul :

Fitoremediasi Besi (Fe) Limbah Domestik Sungai Code oleh *Cyperus papyrus* L. dengan Dukungan *Plant Growth-Promoting Rhizobacteria* (PGPR)

Telah diajukan dan dipertahankan oleh:

IKI LUNISA

31200383

Dalam Ujian Skripsi Program Studi Biologi

Fakultas Bioteknologi

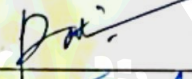
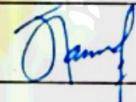
Universitas Kristen Duta Wacana

Dan dinyatakan DITERIMA untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Sains pada tanggal 4 Agustus 2025

Nama Dosen

Tanda Tangan

1. Dr. Dhira Satwika, M.Sc.
(Ketua Tim Penguji/Dosen Pembimbing I)
2. Ratih Restiani, S.Si., M.Biotech.
(Anggota Tim Penguji/Dosen Pembimbing II)
3. Dwi Aditiyarini, S.Si., M.Biotech., M.Sc.
(Anggota Tim Penguji)

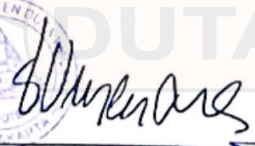
: 
: 
: 

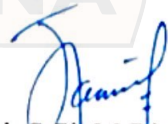
Yogyakarta, 13 November 2025

Dekan,

Ketua Program Studi,




Dr. Charis Amarantini, M.Si.


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

NIK. 914 E 155

NIK. 214 E 556

HALAMAN PERSETUJUAN

Judul : Fitoremediasi Besi (Fe) Limbah Domestik Sungai Code oleh
Cyperus papyrus L. dengan Dukungan *Plant Growth-Promoting Rhizobacteria* (PGPR)

Nama : Iki Lunisa

NIM : 31200383

Pembimbing I : Dr. Dhira Satwika, M.Sc.

Pembimbing II : Ratih Restiani, S.Si., M.Biotech.

Hari/Tanggal Presentasi : Senin, 4 Agustus 2025

Disetujui oleh:

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



Dr. Dhira Satwika, M.Sc.

NIK. 904 E 146

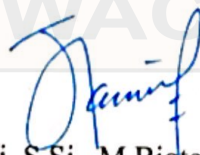


Ratih Restiani, S.Si., M.Biotech

NIK. 174 E 449

Mengetahui,

Ketua Program studi Biologi:



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

NIK. 214 E 556

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Iki Lunisa

NIM : 31200383

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul:

Fitoremediasi Besi (Fe) Limbah Domestik Sungai Code oleh *Cyperus papyrus* L. dengan Dukungan *Plant Growth-Promoting Rhizobacteria* (PGPR)

adalah hasil karya saya dan bukan merupakan duplikasi sebagian atau seluruhnya dari karya orang lain, yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di 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 bertanggung jawab dan saya bersedia menerima sanksi pembatalan skripsi apabila terbukti melakukan duplikasi terhadap skripsi atau karya ilmiah lain yang sudah ada.

Yogyakarta, 5 November 2025



(Iki Lunisa)

NIM. 31200383

KATA PENGANTAR

Segala puji dan Syukur kepada Tuhan Yesus Kristus atas segala limpahan kasih, karunia, dan kehendak-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan Judul **Fitoremediasi Besi (Fe) Limbah Domestik Sungai Code oleh *Cyperus papyrus L.* dengan Dukungan *Plant Growth-Promoting Rhizobacteria* (PGPR)** Yang merupakan syarat wajib dalam memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si.) Fakultas Bioteknologi Universitas Kristen Duta Wacana. Dalam proses penelitian hingga penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan, dan doa dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat:

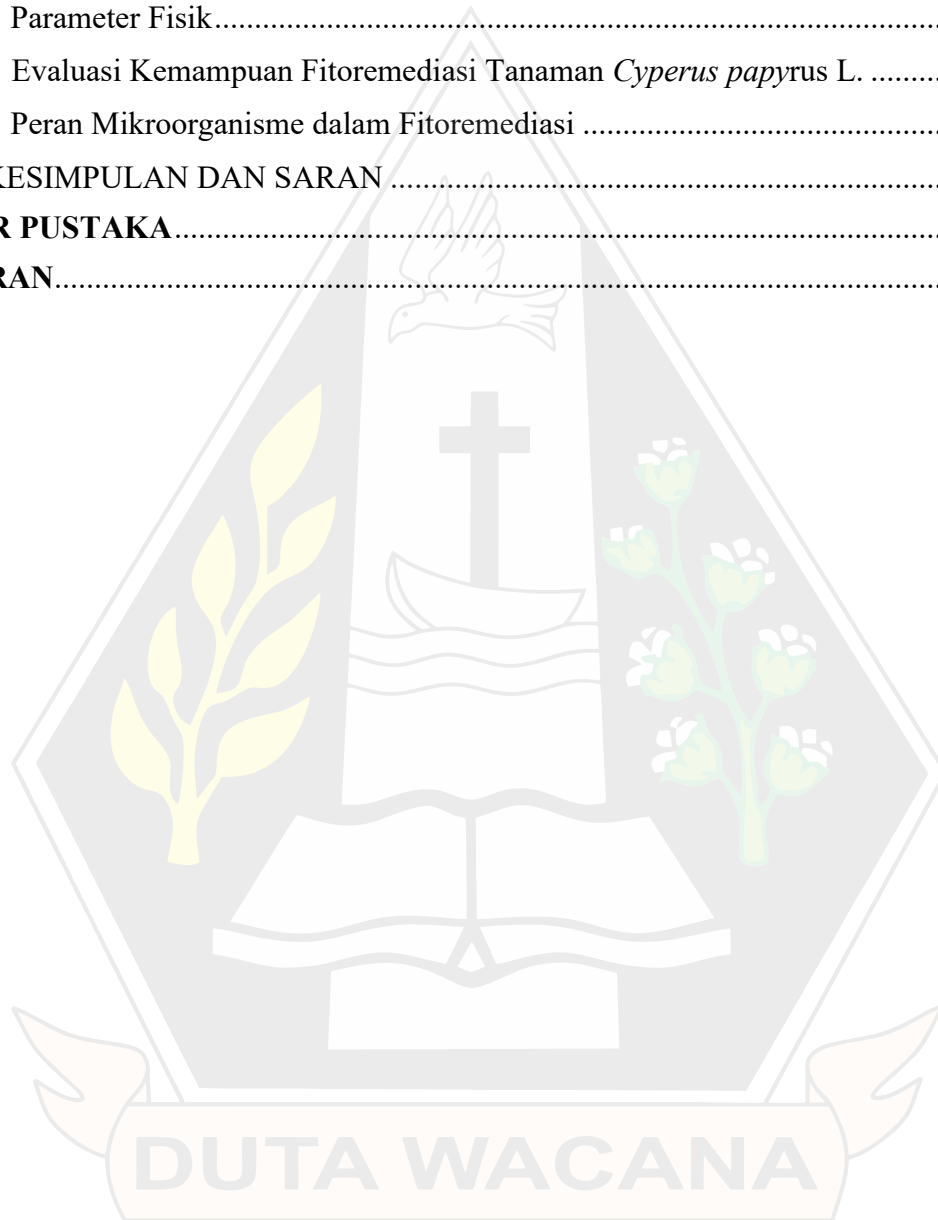
1. Tuhan Yesus Kristus atas segala kekuatan, perlindungan, hingga berkat-Nya yang diberikan kepada penulis untuk menyelesaikan penelitian ini.
2. Dr. Dhira Satwika, M.Sc. dan Ratih Restiani, S.Si., M.Biotech. selaku pembimbing I dan dosen pembimbing II atas ilmu pengetahuan, bimbingan, motivasi, kesabaran dan telah meluangkan waktu untuk penulis selama penyelesaian skripsi.
3. Gemma selaku laboran yang telah membimbing, memberikan arahan, dan memotivasi penulis selama pengerjaan penelitian berlangsung.
4. Seluruh dosen dan staf yang telah memberikan ilmu dan bimbingan penulis selama proses perkuliahan di Fakultas Bioteknologi Universitas Kristen Duta Wacana Yogyakarta.
5. Hadimansyah dan Masni selaku orang tua penulis yang selalu memberikan dukungan, mendoakan, dan donator utama penulis selama perkuliahan dan skripsi.
6. Risa Krelinita, A.Md.Keb., Sasmida, Rahipto, Radipto, dan Rafela Kalenta selaku kakak dan adik kandung dari penulis yang telah memberikan dukungan dalam bentuk doa dan semangat selama perkuliahan.
7. Brigita Novena dan Charolina Palindangan S.Si. selaku teman yang telah membantu, memberikan nasihat, arahan, dan motivasi penulis selama penelitian hingga penyusunan skripsi.
8. Seluruh teman sejawat Fakultas Bioteknologi Universitas Kristen Duta Wacana Angkatan 2020 yang telah bersama-sama berjuang, mendukung, dan memberi semangat selama masa perkuliahan.
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu penulis dalam pelaksanaan dan penyelesaian karya tulis ini dengan baik

Dalam penulisan skripsi ini, penulis menyadari terdapat banyak kekurangan yang harus diperbaiki. Oleh karena itu, penulis berharap adanya kritik dan saran yang membangun dalam menyempurnakan penyusunan skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN JUDUL BAGIAN DALAM	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
ABSTRAK	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan.....	3
1.4. Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Sungai Code	4
2.2. Kontaminan	5
2.3. <i>Cyperus papyrus</i> L.	6
2.4. Fitoremediasi	7
2.5. Peran mikroorganisme dalam fitoremediasi.....	10
2.6. <i>Plant Growth Promoting Rhizobacteria</i> (PGPR).....	12
BAB III METODOLOGI.....	14
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	14
3.2. Bahan.....	14
3.3. Alat	14
3.4. Desain Penelitian	14
3.4.1 Variabel penelitian	15
3.4.2 Tahapan penelitian	15
3.5. Cara Kerja.....	15
3.5.1 Pengukuran kualitas air.....	15
3.5.2 Perlakuan tanaman sebagai agen fitoremediasi	15
3.5.3 Pengukuran Kandungan logam berat Fe	16
3.5.4 Pengamatan perubahan fisik pada tanaman	16

3.5.5	<i>Bioconcentration factor (BCF)</i>	16
3.5.6	<i>Translocation factor (TF)</i>	17
3.5.7	<i>Tolerance index (TI)</i>	17
3.5.8	<i>Next Generation Sequencing (NGS)</i>	17
3.6.	Analisa Data	18
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		19
4.1.	Parameter Fisik.....	19
4.2.	Evaluasi Kemampuan Fitoremediasi Tanaman <i>Cyperus papyrus</i> L.	21
4.3.	Peran Mikroorganisme dalam Fitoremediasi	38
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		52
DAFTAR PUSTAKA		53
LAMPIRAN		65



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	a). daun, b). tunas, c). akar <i>Cyperus papyrus</i> L.....	7
Gambar 2.2	Proses penyerapan logam berat oleh tanaman melalui beberapa mekanisme pada fitoremediasi (Sharma <i>et al.</i> , 2024)	9
Gambar 3.1	Tahapan Penelitian	15
Gambar 3.2	Desain percobaan fitoremediasi air Sungai Code menggunakan tanaman <i>Cyperus papyrus</i> L. pada tiga perlakuan : (A) Kontrol: tanaman dialiri air biasa, (B) Kelompok 1 (T1) <i>Cyperus papyrus</i> L. dialiri limbah domestik dari titik sampling Jembatan Baru UGM, (C) Kelompok 2 (T2) <i>Cyperus papyrus</i> L. dialiri limbah domestik dari titik sampling 2 Jembatan Jl. Dr. Sardjito	16
Gambar 4.1	Parameter Kualitas Limbah a). pH, b). Suhu, c). <i>Dissolve oxygen</i> (DO), d). <i>Total Dissolved Solids</i> (TDS) pengukuran dilakukan perminggu selama 5 minggu.....	19
Gambar 4.2	Nilai <i>Bioconcentration Factor</i> (BCF) dan <i>Translocation Factor</i> (TF) pada <i>Cyperus papyrus</i> L., <i>Colocasia esculenta</i> L., dan <i>Echinochloa stagnina</i>	22
Gambar 4.3	Pertumbuhan tanaman a). Tinggi Tanaman, b). Lebar Daun, c). Panjang Daun, d). Jumlah Daun <i>Cyperus papyrus</i> L. selama 5 minggu paparan terhadap Fe	25
Gambar 4.4	Berat basah dan berat kering <i>Cyperus papyrus</i> L. setelah 5 minggu paparan terhadap logam berat Fe	29
Gambar 4.5	<i>Tolerance Index</i> (TI) <i>Cyperus papyrus</i> L. setelah 5 minggu paparan terhadap logam berat Fe	32
Gambar 4.6	<i>Bioconcentration Factor</i> (BCF) <i>Cyperus papyrus</i> L. setelah 5 minggu paparan terhadap logam berat Fe	34
Gambar 4.7	Hasil <i>Translocation Factor</i> (TF) setelah 5 minggu paparan terhadap logam berat Fe	36
Gambar 4.8	Hasil Top 10 Taxa – Genus analisa metagenomik	38
Gambar 4.9	Diagram Sankey yang menunjukkan komposisi keanekaragaman mikrobia pada tingkat divisi, filum, famili, genus, dan spesies	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Baku Mutu Air	4
Tabel 2.2.	Baku Mutu Air Limbah.....	5
Tabel 4.2.	Morfologi <i>Cyperus papyrus</i> L. selama 5 minggu perlakuan	23
Tabel 4.3.	Hubungan Taksonomi Mikroorganisme Dominan, Kelimpahan Relatif, dan Nilai Alpha Diversity	41



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan BCF, TF, TI, Berat basah dan Berat Kering	65
Lampiran 2. Analisa SPSS	67
Lampiran 3. Identifikasi Metagenomik.....	71
Lampiran 4. Identifikasi Spesies Tanaman <i>Cyperus papyrus</i> L.	72



ABSTRAK

Fitoremediasi Besi (Fe) Limbah Domestik Sungai Code oleh *Cyperus papyrus* L. dengan Dukungan *Plant Growth-Promoting Rhizobacteria* (PGPR)

IKI LUNISA

Logam berat adalah unsur dengan densitas tinggi yang pada kadar tertentu dapat bersifat racun bagi organisme. Besi (Fe) termasuk logam berat esensial, namun keberadaannya yang berlebih di perairan dapat menimbulkan pencemaran. Sungai Code yang melintasi daerah padat penduduk di Yogyakarta sering menerima limbah domestik sehingga berpotensi mengalami peningkatan kandungan logam berat. Oleh karena itu, analisis keberadaan Fe dan upaya pengendaliannya melalui metode ramah lingkungan penting untuk dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi *Cyperus papyrus* L. dalam menyerap logam Fe dari limbah domestik Sungai Code serta mengkaji peran *plant growth-promoting rhizobacteria* (PGPR) dalam mendukung proses fitoremediasi. Penelitian dilaksanakan selama lima minggu dengan tiga perlakuan (kontrol, T1, dan T2). Parameter yang diamati meliputi pertumbuhan tanaman, indeks toleransi (TI), faktor biokonsentrasi (BCF), faktor translokasi (TF), serta komunitas mikroorganisme dengan analisis metagenomik NGS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *C. papyrus* L. mampu beradaptasi di media tercemar dengan nilai TI tertinggi pada T2 (112,46%), sedangkan nilai BCF dan TF masing-masing sebesar 0,208 dan 0,1358 yang mengindikasikan mekanisme fitostabilisasi. Analisis metagenomik menunjukkan dominasi bakteri Alphaproteobacteria (42%), Deltaproteobacteria (37%), dan Gammaproteobacteria (20%). Hasil ini membuktikan bahwa kombinasi *C. papyrus* dan PGPR berpotensi meningkatkan efektivitas fitoremediasi Fe di Sungai Code.

Kata kunci:

DUTA WACANA

ABSTRACT

Phytoremediation of Iron (Fe) in Domestic Wastewater from the Code River by *Cyperus papyrus* L. with the Support of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR)

IKI LUNISA

Heavy metals are elements with high density that can be toxic to organisms at certain levels. Iron (Fe) is an essential heavy metal, but its excess presence in water may cause pollution. The Code River, which flows through a densely populated area in Yogyakarta, often receives domestic waste, potentially leading to increased heavy metal content. Therefore, it is important to analyze the presence of Fe and control it using environmentally friendly methods. This study aims to determine the potential of *Cyperus papyrus* L. in absorbing Fe from domestic waste in the Code River and to examine the role of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) in supporting the phytoremediation process. The study was conducted over five weeks with three treatments (control, T1, and T2). The parameters observed included plant growth, tolerance index (TI), bioconcentration factor (BCF), translocation factor (TF), and microorganism communities using NGS metagenomic analysis. The results showed that *C. papyrus* was able to adapt to contaminated media with the highest TI value in T2 (112.46%), while the BCF and TF values were 0.208 and 0.1358, respectively, indicating a phytostabilization mechanism. Metagenomic analysis showed the dominance of Alphaproteobacteria (42%), Deltaproteobacteria (37%), and Gammaproteobacteria (20%) bacteria. These results prove that the combination of *C. papyrus* and PGPR has the potential to increase the effectiveness of Fe phytoremediation in the Code River

Keywords: *Cyperus papyrus* L., heavy metal Fe, phytoremediation, plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR), Code River

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pencemaran logam berat di perairan merupakan salah satu permasalahan lingkungan berskala global. Logam berat seperti besi (Fe), timbal (Pb), dan kadmium (Cd) diketahui bersifat toksik, sulit terurai (persisten), dan dapat terakumulasi dalam rantai makanan. Akumulasi logam berat tersebut dapat membahayakan kesehatan manusia serta mengganggu keseimbangan ekosistem perairan. Umumnya, sumber utama pencemaran logam berat berasal dari limbah industri, pertanian, dan domestik yang dibuang ke lingkungan tanpa pengolahan yang memadai (Abdelaal *et al.* 2021). Perairan sungai sebagai media aliran air sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti musim, perubahan penggunaan lahan, serta aktivitas masyarakat sekitar. Sungai Code melintas di kawasan tengah kota Yogyakarta, kualitas air di bagian hulu masih tergolong baik karena ekosistem relatif belum terganggu. Meski demikian, pada bagian tengah dan hilir sungai, dilaporkan kondisi mulai mengalami kerusakan dan pencemaran akibat peningkatan aktivitas manusia (Ishak *et al.* 2023).

Sungai Code merupakan salah satu badan air yang menerima beban pencemaran cukup tinggi dari berbagai sumber, seperti limbah rumah tangga, industri, perhotelan, dan rumah sakit. Limbah ini mengandung berbagai logam, salah satunya adalah besi (Fe), yang dalam konsentrasi tinggi dapat memberikan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat (Tarigan *et al.* 2013). Logam berat besi (Fe) dalam limbah yang mencemari perairan sungai di Indonesia umumnya berasal dari limbah domestik, aktivitas industri, dan korosi pipa besi (Nurjanah, 2025). Tingginya kelimpahan unsur Fe di perairan Sungai Code tidak hanya mencemari lingkungan, tetapi juga dapat menyebabkan toksisitas pada biota air dan tanaman. Meskipun besi terdapat dalam jumlah melimpah di kerak bumi, kebutuhan tanaman akan Fe hanya dalam jumlah kecil dengan kadar yang memadai dalam jaringan umumnya berkisar antara 50 hingga 200 ppm (Quezada, 2024). Kelebihan unsur ini dapat menyebabkan stres oksidatif, gangguan fisiologis, dan penurunan produktivitas tanaman, sehingga bersifat sebagai kontaminan dalam sistem ekologi (Ferreira *et al.*, 2022). Berdasarkan hasil penelitian Ariva (2016), kandungan Fe di Sungai Code mencapai 0,32 mg/L, yang dilaporkan telah melebihi baku mutu air permukaan sesuai Peraturan KEPMENKES RI No. 492/MENKES/PER/IV/2010. Hasil penelitian terbaru oleh Dalila (2024) menemukan bahwa kadar Fe di Daerah Aliran Sungai Code berkisar antara tertinggi

308,34-1498,34mg/kg. Sumber pencemaran Fe tersebut diduga berasal dari korosi pipa, pestisida, industri keramik, baja, baterai, dan berbagai aktivitas domestik lainnya (Anjani, 2018).

Logam berat tidak dapat mengalami proses biodegradasi seperti senyawa organik, melainkan hanya mampu berubah dalam bilangan oksidasinya. Sifat ini menyebabkan logam berat sulit untuk dihilangkan, butuh waktu cukup lama proses penguraian sehingga menjadi ancaman serius bagi kesehatan masyarakat, keamanan pangan, serta kelestarian lingkungan (Ashraf *et al.*, 2019). Diperlukan strategi pengolahan limbah yang efektif untuk menurunkan konsentrasi logam berat dalam air. Metode pengolahan limbah konvensional seperti fisik dan kimia memang tersedia, namun memerlukan biaya yang besar dan dalam beberapa kasus menimbulkan masalah sekunder (Satria *et al.*, 2019). Alternatif pengolahan limbah yang lebih murah, sederhana, dan ramah lingkungan adalah pengolahan secara biologis, salah satunya melalui metode fitoremediasi. Fitoremediasi merupakan teknik yang memanfaatkan kemampuan tanaman tertentu untuk menyerap, mengakumulasi, atau menstabilkan polutan dari lingkungan tercemar, termasuk logam berat (Ariyachandra *et al.*, 2023).

Salah satu tanaman lokal yang berpotensi digunakan dalam fitoremediasi adalah *Cyperus papyrus* L. (alang-alang air). Tanaman ini banyak ditemukan di sepanjang aliran Sungai Code dan memiliki adaptasi tinggi terhadap lingkungan yang tercemar. *C. papyrus* L. diketahui mampu merespons perubahan kualitas air dalam jangka waktu lama dan dapat hidup di kondisi lingkungan ekstrem (Yulisa & Choesin, 2016). Penelitian oleh Choirunnisa (2020) menunjukkan bahwa *C. papyrus* L. mampu menurunkan kadar Fe dalam limbah buatan hingga 66,37% hanya dalam waktu tiga hari. Efektivitas ini didukung oleh struktur batangnya yang berongga, bersekat-sekat, dan berbuku-buku, yang memungkinkan efisiensi penyerapan logam (Tosepu, 2012).

Selain peran tanaman, mikroorganisme yang tergolong dalam Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) juga mendukung efektivitas fitoremediasi; bakteri seperti *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, dan *Azospirillum* dapat merangsang pertumbuhan tanaman melalui produksi hormon, pelarutan fosfat, dan mekanisme yang meningkatkan toleransi terhadap logam berat, termasuk produksi siderofor, fiksasi nitrogen, dan stimulasi pertumbuhan akar untuk mengurangi stres oksidatif (Zendrato & Lase, 2025; Muratova *et al.*, 2023).

1.2. Rumusan Masalah

1. *Cyperus papyrus* L. berpotensi menurunkan konsentrasi logam berat Fe
2. Mengetahui keanekaragaman mikroorganisme (PGPR) pada sistem perakaran *Cyperus papyrus* L.

1.3. Tujuan

1. Mengetahui potensi *Cyperus papyrus* L. menurunkan konsentrasi logam berat Fe
2. Mengidentifikasi keanekaragaman mikroorganisme (PGPR) pada sistem perakaran *Cyperus papyrus* L.

1.4. Manfaat Penelitian

1. Masyarakat

Penelitian ini memberikan informasi tentang metode penanggulangan pencemaran logam berat Fe yang aman, murah, dan ramah lingkungan. Selain itu, hasil penelitian dapat meningkatkan kesadaran masyarakat akan pentingnya menjaga kebersihan sungai serta mendorong keterlibatan aktif dalam kegiatan restorasi perairan melalui pemanfaatan tanaman lokal seperti *Cyperus papyrus* L..

2. Instansi Pemerintah

Hasil penelitian ini dapat menjadi dasar dalam merumuskan kebijakan pengelolaan limbah domestik, khususnya dalam pengendalian pencemaran logam berat Fe di sungai Code.

3. Ilmu Pengetahuan

Penelitian ini berkontribusi dalam memperkaya pengetahuan ilmiah di bidang fitoremediasi, mikrobiologi lingkungan, dan bioteknologi tanaman. Hasil penelitian dapat menjadi referensi akademik dan bahan ajar yang relevan untuk penelitian yang terkait dengan pengelolaan lingkungan berkelanjutan, sekaligus membuka peluang kolaborasi lintas disiplin ilmu.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

- 5.1.1. *Cyperus papyrus* pada kondisi penelitian ini berpotensi untuk secara efektif mengurangi kelarutan dan ketersediaan Fe melalui interaksi tanaman-mikroba, sehingga layak direkomendasikan sebagai kandidat fitoremediator untuk limbah domestik yang mengandung Fe.
- 5.1.2. Ada interaksi yang sinergis PGPR dan mikroba fungsional untuk mendukung fitoremediasi Fe melalui mekanisme langsung (siderofor, reduksi/oksidasi Fe) maupun tidak langsung (suplai karbon, fiksasi N, dan peningkatan pertumbuhan akar).

5.2. Saran

- 5.2.1. Penggunaan kombinasi tanaman untuk membandingkan dan melihat efektivitas fitoremediasi di lapangan.
- 5.2.2. Melakukan pengamatan (waktu) yang lebih panjang terhadap efek akumulasi logam dalam jaringan tanaman dan memperluas area penelitian.
- 5.2.3. Penelitian ini dapat dijadikan sebagai dasar pengembangan fitoteknologi ramah lingkungan dalam pengelolaan limbah domestik secara terintegrasi, terutama di daerah aliran sungai perkotaan lain

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Shafy, H. I., & Mansour, M. S. M. (2018). Solid Waste Issue: Sources, Composition, Disposal, Recycling, and Valorization. *Egyptian Journal of Petroleum*, 27(4), 1275–1290. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.07.003>
- Abdelaal, M., Mashaly, I. A., Srour, D. S., Dakhil, M. A., El-Liethy, M. A., El-Keblawy, A., El-Barougy, R. F., Halmy, M. W. A., & El-Sherbeny, G. A. (2021). Phytoremediation Perspectives of Seven Aquatic Macrophytes for Removal of Heavy Metals from Polluted Drains in the Nile Delta of Egypt. *Biology*, 10(6), 560. <https://doi.org/10.3390/biology10060560>
- Abdel-Sabour, M. F., & El-Saied, S. M. (2020). Assessment of *Cyperus papyrus* as a bioindicator of heavy metal pollution in aquatic ecosystems. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(6), 1–10.
- Ahmad, J., & El-Dessouky, H. (2008). Design of a Modified Low Cost Treatment System for the Recycling and Reuse of Laundry Waste Water. *Resources, Conservation and Recycling*, 52(7), 973–978. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2008.03.001>
- Ahmad, R., Jilani, G., Arshad, M., Zahir, Z. A., & Khalid, A. (2007). Bio-conversion of Organic Wastes for Their Recycling in Agriculture: an Overview of Perspectives and Prospects. *Annals of Microbiology*, 57(4), 471–479. <https://doi.org/10.1007/BF03175343>

- AL-Enazi, M. S., Lazim, I. I., & Hilo Ali, H. (2022). Ability of *Cyperus papyrus* in the bioaccumulation of some heavy elements in the Shatt Al-Basrah canal, Iraq. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 20(3), 603–609. <https://doi.org/10.22124/cjes.2022.5704>
- Alloway, B. J. (2013). *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability* (3rd ed.). Springer.
- Amri, K., & Adifa, F. (2025). Peran Fitoremediasi dalam Pemulihan Tanah Tercemar Logam Berat: Tinjauan Mekanisme dan Aplikasi. *Jurnal Greenation Ilmu Teknik*, 3(2), 58–65. <https://doi.org/10.38035/jgit.v3i2.309>
- Anjani, M. D. (2018). Analisis Water Quality Index Kandungan Logam Berat di Sepanjang Sungai Code, Yogyakarta. Universitas Islam Indonesia.
- Ansari, A. A., Naeem, M., Gill, S. S., & AlZuaibr, F. M. (2020). Phytoremediation of Contaminated Waters: An Eco-Friendly Technology Based on Aquatic Macrophytes Application. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 46(4), 371–376. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2020.03.002>
- Ardiana, M., & Advinda, L. (2022). The Ability of Fluorescent *Pseudomonad* to Produce Indole Acetic Acid (IAA). *Jurnal Serambi Biologi*, 7(1), 59–64. <https://doi.org/10.24036/srmb.v7i1.20>
- Ariyachandra, S. P., Alwis, I. S., & Wimalasiri, E. M. (2023). Phytoremediation Potential of Heavy Metals by *Cyperus rotundus*. *Reviews in Agricultural Science*, 11, 20–35. https://doi.org/10.7831/ras.11.0_20
- Ashraf, S., Ali, Q., Zahir, Z. A., Ashraf, S., & Asghar, H. N. (2019). Phytoremediation: Environmentally Sustainable Way for Reclamation of Heavy Metal Polluted Soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 174, 714–727. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.02.068>
- Badan Pengelola Lingkungan Hidup Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. (2014). *Laporan Status Lingkungan Hidup Daerah Kota Yogyakarta Tahun 2014*. Yogyakarta: Badan Pengelola Lingkungan Hidup Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.
- Basu, A., Prasad, P., Das, S. N., Kalam, S., Sayyed, R. Z., Reddy, M. S., & El Enshasy, H. (2021). Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) as Green Bioinoculants: Recent Developments, Constraints, and Prospects. *Sustainability*, 13(3), 1140. <https://doi.org/10.3390/su13031140>
- Brontowiyono, W., Kasam, K., Ribut, & Ike. (2013). Strategi Penurunan Pencemaran Limbah Domestik di Sungai Code DIY. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 5(1), 36–47. <https://doi.org/10.20885/jstl.vol5.iss1.art5>
- Cahyati, A. I., Nurrahman, N., & Aminah, S. (2022). Sifat Kimia dan Fisik Food Berbasis Ikan Kembung dengan Penambahan Kedelai Hitam. *AGRITEKNO: Jurnal Teknologi Pertanian*, 11(1), 9–17. <https://doi.org/10.30598/jagritekno.2022.11.1.9>
- Cai, S. W., Shen, Z. W., Ni, Z. H., Li, Y. F., Liu, B., Dai, Y., & Zhao, J. (2018). Metal Distribution in Water, Sediment, Submerged Plant, and Fish From an Urban River in Zunyi, Southwest of China. *Fresenius Environ. Bull*, 27(3), 1627–1633.
- Calderón-Ezquerro, M. C., de León A, A., Brunner-Mendoza, C., Guerrero-Guerra C, C., Sanchez-Flores, A., Salinas-Peralta, I., López Jacome, L. E., Castro, C. A. C., & Zavaleta, M. G. M. (2024). Assessment of Airborne Bacteria from a Public Health Institution in Mexico City. *PLOS Global Public Health*, 4(11), 1–27.

<https://doi.org/10.1371/journal.pgph.0003672>

- Candraningtyas, C. F., & Indrawan, M. (2023). Analisis Efektivitas Penggunaan Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) untuk Peningkatan Pertanian Berkelanjutan. *Jurnal Risalah Kebijakan Pertanian Dan Lingkungan*, 10(2), 88–99. <https://doi.org/10.29244/jkebijakan.v10i2.48342>
- Chen, Y., Liu, Y., Li, Y., Wu, Y., Chen, Y., Zeng, G., Zhang, J., & Li, H. (2017). Influence of Biochar on Heavy Metals and Microbial Community During Composting of River Sediment with Agricultural Wastes. *Bioresource Technology*, 243, 347–355. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.100>
- Choirunnisa, A. T. (2020). Fitoremediasi Logam Berat Besi (Fe) Menggunakan Tanaman Kayu Apu (*Pistia Stratiotes* L.) dan Papyrus (*Cyperus papyrus* L.). UIN Sunan Ampel Surabaya.
- DalCorso, G., Fasani, E., Manara, A., Visioli, G., & Furini, A. (2019). Heavy Metal Pollutions: State of the Art and Innovation in Phytoremediation. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(14), 3412. <https://doi.org/10.3390/ijms20143412>
- Darajeh, N., Idris, A., Truong, P., Abdul Aziz, A., Abu Bakar, R., & Che Man, H. (2014). Phytoremediation Potential of Vetiver System Technology for Improving the Quality of Palm oil Mill Effluent. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2014(1), 683579. <https://doi.org/10.1155/2014/683579>
- Dhaulaniya, A. S., Kumar, S., & Singh, S. (2022). *Microbial diversity and metal resistance mechanisms in contaminated environments: A comprehensive review*. Environmental Research, 212, 113251.
- Ejaz, U., Khan, S. M., Khalid, N., Ahmad, Z., Jehangir, S., Fatima Rizvi, Z., Lho, L. H., Han, H., & Raposo, A. (2023). Detoxifying the Heavy Metals: a Multipronged Study of Tolerance Strategies Against Heavy Metals Toxicity in Plants. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1154571. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1154571>
- Eichorst, S. A., Trojan, D., Roux, S., Herbold, C., & Daims, H. (2018). *Acidobacteria ecological roles in soil and sediment carbon and iron cycling*. Environmental Microbiology Reports, 10(1), 1–13.
- El-Sappah, A. H., Zhu, Y., Huang, Q., Chen, B., Soaud, S. A., Abd Elhamid, M. A., Yan, K., Li, J., & El-Tarabily, K. A. (2024). Plants' Molecular Behavior to Heavy metals: From Criticality to Toxicity. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1–20. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1423625>
- Erhaqim, E. A., & Sarwadi, A. (2022). Perubahan Fungsi Ruang Akibat Pandemi Covid-19 pada Hunian mbr di Kampung Code Jetisharjo Yogyakarta. *Pawon: Jurnal Arsitektur*, 6(2), 1–20. <https://doi.org/10.36040/pawon.v6i2.4178>
- Farooq, T. H., Rafay, M., Basit, H., Shakoar, A., Shabbir, R., Riaz, M. U., Ali, B., Kumar, U., Qureshi, K. A., & Jaremko, M. (2022). Morpho-physiological Growth Performance and Phytoremediation Capabilities of Selected Xerophyte Grass Species Toward Cr and Pb Stress. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.997120>
- Fatima, T., Khan, S., Khan, M. M., Kamran, R., Uddin, M. W., & Sohrab, S. (2023). Oxidative Stress in Beta-thalassemia Patients: Role of Enzymatic and Non-enzymatic Modulators. *Protein and Peptide Letters*, 30(12), 1030–1037. <https://doi.org/10.2174/0109298665246270231020062048>

- Ferreira, I. C., Galéry, R., Henriques, A. B., de Carvalho Teixeira, A. P., Prates, C. D., Lima, A. S., & Souza Filho, I. R. (2022). Reuse of Iron Ore Tailings for Production of Metakaolin-Based Geopolymers. *Journal of Materials Research and Technology*, 18, 4194–4200. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.03.192>
- Fitriana, A. N. (2018). Efektifitas Penggunaan Jenis Tanaman ((Kayu Apu (*Pistia Stratiotes*), Melati Air (*Echinodorus Palaefolius*)) Dan Lama Kontak Terhadap Kadar Fosfat Pada Limbah Cair Laundry. Universitas Muhammadiyah Semarang.
- Fitriyanti, R. (2020). Karakteristik Limbah Domestik di Lingkungan. *Jurnal Redoks*, 5(2), 72–77. <https://doi.org/10.31851/redoks.v5i2.4305>
- Gao, H., Zhang, X., Li, Y., & Chen, J. (2021). Rhizosphere bacteria enhance iron uptake and accumulation in wetland plants. *Environmental Pollution*, 278, 116858. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116858>
- GBIF. (2024). *Cyperus papyrus* L. GBIF. <https://www.gbif.org/species/2716311>
- Gharib, F. A. E. L., & Ahmed, E. Z. (2023). Spirulina Platensis Improves Growth, Oil Content, and Antioxidant Activity of Rosemary Plant Under Cadmium and Lead Stress. *Scientific Reports*, 13(1), 1–15. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-35063-1>
- Ghosh, M., & Singh, S. P. (2005). A Review on Phytoremediation of Heavy Metals and Utilization of it's by Products. *Asian Jurnal Energy Environ*, 6(4), 1–18. https://doi.org/10.15666/aeer/0301_001018
- Gómez Expósito, R., Postma, J., Raaijmakers, J. M., & De Bruijn, I. (2015). Diversity and Activity of Lysobacter Species from Disease Suppressive Soils. *Frontiers in Microbiology*, 6, 1–12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01243>
- Goswami, D., Thakker, J. N., & Dhandhukia, P. C. (2016). Portraying Mechanics of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR): a Review. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1), 1–19. <https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1127500>
- Goswami, R. K., Agrawal, K., Shah, M. P., & Verma, P. (2022). Bioremediation of Heavy Metals from Wastewater: a Current Perspective on Microalgae-based Future. *Letters in Applied Microbiology*, 75(4), 701–717. <https://doi.org/10.1111/lam.13564>
- Gupta, A., Rai, V., & Sharma, S. (2021). Mechanisms and applications of Bacillus species in heavy metal bioremediation. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 15, 100445.
- Gupta, R., Sharma, R., & Pathak, H. (2023). Actinobacteria in metal-contaminated environments: Potential for bioremediation and resistance mechanisms. *Journal of Hazardous Materials*, 452, 132786
- Guo, Y., Cheng, S., Fang, H., Yang, Y., Li, Y., Shi, F., & Zhou, Y. (2023). Copper and Cadmium Co-Contamination Affects Soil Bacterial Taxonomic and functional Attributes in Paddy Soils. *Environmental Pollution*, 329, 121724. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121724>
- Glick, B. R. (2012). Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. *Scientifica*, 2012, 963401. <https://doi.org/10.6064/2012/963401>
- Guo, X., et al. (2023). Effects of copper stress on stomatal density and leaf growth in plants. *Environmental and Experimental Botany*, 205, 105106. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2023.105106>
- Hamad, M. T. M. H. (2020). Comparative Study on the Performance of Typha Latifolia and

- Cyperus papyrus* on the Removal of Heavy Metals and Enteric Bacteria from Wastewater by Surface Constructed Wetlands. *Chemosphere*, 260, 127551. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127551>
- Handayani, L. (2022). Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Berat Besi (Fe) Menggunakan Tanaman Jarak Pagar (*Jatropha Curcas*). UIN Ar-Raniry.ha. 4-30
- Harish, G. N., Singh, R., Sharma, S., & Taggar, G. K. (2023). Changes in Defense-related Antioxidative Enzymes Amongst the Resistant and Susceptible Soybean Genotypes Under Whitefly, *Bemisia Tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) Stress. *Phytoparasitica*, 51(1), 63–75. <https://doi.org/10.1007/s12600-022-01028-9>
- Hem, J. D. (1985). Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water (3rd ed.). U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2254
- Hidayah, A. M., Purwanto, P., & Soeprbowati, T. R. (2014). Biokonsentrasi Faktor Logam Berat Pb, Cd, Cr dan Cu pada Ikan Nila (*Oreochromis Niloticus* Linn.) di Karamba Danau Rawa Pening. *Bioma: Berkala Ilmiah Biologi*, 16(1), 1–9. <https://doi.org/10.14710/bioma.16.1.1-9>
- Huo, S., Liu, J., Zhu, F., Basheer, S., Necas, D., Zhang, R., Li, K., Chen, D., Cheng, P., & Cobb, K. (2020). Post Treatment of Swine Anaerobic Effluent by Weak Electric Field Following Intermittent Vacuum Assisted Adjustment of N: P Ratio for Oil-rich Filamentous Microalgae production. *Bioresource Technology*, 314, 123718. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2020.123718>
- Hwang, S.-G., Chapagain, S., Lee, J. W., Han, A.-R., & Jang, C. S. (2017). Genome-wide Transcriptome Profiling of Genes Associated With Arsenate Toxicity in an Arsenic-tolerant Rice Mutant. *Plant Physiology and Biochemistry*, 120, 40–51. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.09.019>
- Ilhami, S. Q., & Nurdini, J. A. (2024). Analisis Faktor Biokonsentrasi Dan Faktor Translokasi Dari Logam Berat Cu Pada Mangrove *Rhizophora* sp. *Juvenil: Jurnal Ilmiah Kelautan Dan Perikanan*, 5(4), 394–401. <https://doi.org/10.21107/juvenil.v5i4.28067>
- Islam, M. M., Saxena, N., & Sharma, D. (2024). Phytoremediation as a Green and Sustainable Prospective Method for Heavy Metal Contamination: a Review. *RSC Sustainability*, 2(5), 1269–1288. <https://doi.org/10.1039/D3SU00440F>
- Izza, N. (2024). Analisis Risiko Kesehatan Pajanan Besi (Fe) Dan Mangan (Mn) Pada Air Sumur Gali Sebagai Air Minum Masyarakat Di Desa Sudimoro Kecamatan Semaka Tanggamus Lampung. Poltekkes Kemenkes Tanjungkarang.
- Jacob, J. M., Karthik, C., Saratale, R. G., Kumar, S. S., Prabakar, D., Kadirvelu, K., & Pugazhendhi, A. (2018). Biological Approaches to Tackle Heavy Metal Pollution: a Survey of Literature. *Journal of Environmental Management*, 217, 56–70. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.03.077>
- Jaiswal, D. K., & Verma, J. P. (2016). The Significance of Plant-Associated Microbial Rhizosphere for the Degradation of Xenobiotic Compounds. In *Plant Responses to Xenobiotics* (pp. 307–316). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-2860-1_13
- Jiang, X., Liu, H., & Zhou, G. (2020). Role of actinomycetes and siderophore production in heavy metal detoxification and plant growth promotion. *Applied Soil Ecology*, 155, 103636.
- Jorjani, S., & Karakaş, F. P. (2024). Physiological and Biochemical Responses to Heavy

- Metals Stress in Plants. *International Journal of Secondary Metabolite*, 11(1), 169–190.
<https://doi.org/10.21448/ijsm.1323494>
- Jroundi, F., González-Muñoz, M. T., & Arias, J. M. (2021). *Microbial biomineralization for bioremediation of metals: role of Bacillus species in iron reduction*. *Frontiers in Microbiology*, 12, 672909.
- Juhriah, J., & Alam, M. (2016). Fitoremediasi Logam Berat Merkuri (Hg) pada Tanah Dengan Tanaman *Celosia plumosa* (Voss) Burv. *Bioma: Jurnal Biologi Makassar*, 1(1), 1–8.
<https://doi.org/10.20956/bioma.v1i1.1349>
- Kabata-Pendias, A., & Mukherjee, A. B. (2007). *Trace Elements from Soil to Human*. Berlin: Springer.
- Kamyab, H., Goh, R. K. Y., Wong, J. H., Lim, J. S., Khademi, T., Ho, W. S., Ahmad, R., Hashim, H., Ho, C. S., & Lee, C. T. (2015). Cost-Benefit and Greenhouse-Gases Mitigation of Food Waste Composting: A Case Study in Malaysia. *Chemical Engineering Transactions*, 45, 577–582. <https://doi.org/10.3303/CET1545097>
- Karthik, C., & Arulselvi, P. I. (2017). Biotoxic Effect of Chromium (VI) on Plant Growth-Promoting Traits of Novel Cellulosimicrobium Funkei Strain AR8 Isolated from *Phaseolus vulgaris* Rhizosphere. *Geomicrobiology Journal*, 34(5), 434–442.
<https://doi.org/10.1080/01490451.2016.1219429>
- Khatoun, F., Azahar, M., Uddin, Q., Husain, N., Moin, M. S., & Khan, S. (2024). A Comprehensive Review on *Trigonella foenum-graecum* L. with Special Reference to Unani Medicine. *Combinatorial Chemistry & High Throughput Screening*, 27(2), 187–202. <https://doi.org/10.2174/1386207326666230504112848>
- Kielak, A. M., Barreto, C. C., Kowalchuk, G. A., van Veen, J. A., & Kuramae, E. E. (2016). *The ecology of Acidobacteria: moving beyond genes and genomes*. *Frontiers in Microbiology*, 7, 744.
- Kola, E., Munyai, C., & Dalu, T. (2025). A Review of Macrophyte Phytoremediation in Africa: Current Research and Challenges. *Chemistry and Ecology*, 41(5), 710–728.
<https://doi.org/10.1080/02757540.2025.2470315>
- Konkolewska, A., Piechalak, A., Ciszewska, L., Antos-Krzemińska, N., Skrzypczak, T., Hanć, A., Sitko, K., Małkowski, E., Barańkiewicz, D., & Małecka, A. (2020). Combined Use of Companion Planting and PGPR for the Assisted Phytoextraction of Trace Metals (Zn, Pb, Cd). *Environmental Science and Pollution Research*, 27(12), 13809–13825.
<https://doi.org/10.1007/s11356-020-07885-3>
- Kompas. (2024). Sungai Code Tercemar Limbah Domestik dan Laundry, Perlu Pengawasan Ketat. Kompas.id, 7 Februari 2024
- Kritzberg, E. S., & Ekström, S. M. (2012). Increasing Iron Concentrations in Surface Waters a Factor Behind Brownification? *Biogeosciences*, 9(4), 1465–1478.
<https://doi.org/10.5194/bg-9-1465-2012>
- Kurniawan, P., Kasmiyatun, M., & Hidup, L. (2020). Reduksi Kandungan Logam Berat Fe pada Air Sungai Jetis Salatiga Secara Adsorpsi Menggunakan Karbon Aktif. *CHEMTAG Journal of Chemical Engineering*, 1(1), 12–17.
- Leka, E. S. K., Cahyadi, T. A., Nurkhamim, N., Ernawati, R., & Winarno, E. (2024). Overview Metode Fitoremediasi Dalam Pengelolaan air Tercemar Timbal (Pb): Overview of Phytoremediation Methods in Management of Lead (Pb) Polluted Water. *Media Ilmiah*

Teknik Lingkungan (MITL), 9(1), 31–37.

- Li, X., Rui, J., Xiong, J., Li, J., & He, Z. (2020). *Functional and metabolic potential of Acidobacteria in biogeochemical cycling of metals*. *Microbiome*, 8, 85.
- Liu, C., Wen, L., Cui, Y., Ahammed, G. J., & Cheng, Y. (2024). Metal Transport Proteins and Transcription Factor Networks in Plant Responses to Cadmium Stress. *Plant Cell Reports*, 43(9), 218. <https://doi.org/10.1007/s00299-024-03303-x>
- Liu, J., Chen, F., Yao, Q., Sun, Y., Huang, W., Wang, R., Yang, B., Li, W., & Tian, J. (2020). Application and Prospect of Graphene and Its Composites in Wastewater Treatment. *Polish Journal of Environmental Studies*, 29(6), 3965–3974. <https://doi.org/10.15244/pjoes/117660>
- Ma, Y., Oliveira, R. S., Freitas, H., & Zhang, C. (2016). Biochemical and Molecular Mechanisms of Plant-Microbe-Metal Interactions: Relevance for Phytoremediation. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1–19.
- Ma, Y., Wei, N., Wang, Q., Liu, Z., & Liu, W. (2021). Genome-wide Identification and Characterization of the Heavy Metal ATPase (HMA) Gene Family in *Medicago truncatula* Under Copper Stress. *International Journal of Biological Macromolecules*, 193, 893–902. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.10.197>
- Madigan, M. T., Bender, K. S., Buckley, D. H., Sattley, W. M., & Stahl, D. A. (2018). *Brock Biology of Microorganisms* (15th ed.). Pearson.
- Marschner, H. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants* (3rd ed.). Academic Press
- Malar, S., Shivendra Vikram, S., JC Favas, P., & Perumal, V. (2014). Lead Heavy Metal Toxicity Induced Changes on Growth and Antioxidative Enzymes Level in Water Hyacinths [*Eichhornia crassipes* (Mart.)]. *Botanical Studies*, 55(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s40529-014-0054-6>
- Małkowski, E., Sitko, K., Szopiński Michał and Gieroń, Ż., Pogrzeba, M., Kalaji, H. M., & Zieleźnik-Rusinowska, P. (2020). Hormesis in Plants: The Role of Oxidative Stress, Auxins and Photosynthesis in Corn Treated with Cd or Pb. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(6), 1–21. <https://doi.org/10.3390/ijms21062099>
- Manoj, S. R., Karthik, C., Kadirvelu, K., Arulselvi, P. I., Shanmugasundaram, T., Bruno, B., & Rajkumar, M. (2020). Understanding the Molecular Mechanisms for the Enhanced Phytoremediation of Heavy Metals Through Plant Growth Promoting Rhizobacteria: A Review. *Journal of Environmental Management*, 254, 109779. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109779>
- Mokoginta, R. F., Tumbelaka, S., & Nangoi, R. (2022). The Effect of PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) Bio Fertilization on the Growth and Production of Lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Jurnal Agroekoteknologi Terapan*, 3(1), 43–51. <https://doi.org/10.35791/jat.v3i1.38276>
- Morkunas, I., et al. (2018). The role of heavy metals in plant response to biotic stress. *Molecules*, 23(9), 2320. <https://doi.org/10.3390/molecules23092320>
- Muratova, A., Golubev, S., Romanova, V., Sungurtseva, I., & Nurzhanova, A. (2023). Effect of Heavy-Metal-Resistant PGPR Inoculants on Growth, Rhizosphere Microbiome and Remediation Potential of *Miscanthus × giganteus* in Zinc-Contaminated Soil. *Microorganisms*, 11(6), 1516. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11061516>

- Nur, F. (2013). Fitoremediasi Logam Berat Kadmium (Cd). *Biogenesis: Jurnal Ilmiah Biologi*, 1(1), 74–83. <https://doi.org/10.24252/bio.v1i1.450>
- Panda, S. K., Gupta, D., Patel, M., Vyver, C. Van Der, & Koyama, H. (2024). Functionality of Reactive Oxygen Species (ROS) in Plants: Toxicity and Control in Poaceae Crops Exposed to Abiotic Stress. *Plants*, 13(15), 1–25. <https://doi.org/10.3390/plants13152071>
- Paringga, T. D. (2023). *Potensi Aplikasi Mikroba PGPR, AMF dan Tanaman Samanea Saman Untuk Serapan Pb dan Ph Pada Tanah TPA*. Universitas Islam Indonesia.
- Paulina, M., & Faradika, M. (2024). Fitoremediasi dengan Berbagai Jenis Tumbuhan: Review. *Journal of Global Forest and Environmental Science*, 4(1), 127–131.
- Peraturan Daerah (Perda) Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah (2016).
- Peraturan Gubernur (PERGUB) Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta No. 20 Tahun 2008 Tentang Baku Mutu Air Di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (2008).
- Podgórska, A., Burian, M., & Szal, B. (2017). Extra-Cellular But Extra-Ordinarily Important for Cells: Apoplastic Reactive Oxygen Species Metabolism. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1353. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01353>
- Pratish, A., Kumar, A., & Hu, Z. (2018). Adverse Effect of Heavy Metals (As, Pb, Hg, and Cr) on Health and Their Bioremediation Strategies: a Review. *International Microbiology*, 21(3), 97–106. <https://doi.org/10.1007/s10123-018-0012-3>
- Purwatinigum, O. (2018). Gambaran Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik Komunal Di Kelurahan Simokerto Kecamatan Simokerto Kota Surabaya. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 10(2), 243–253.
- Putri, R. W. P., Hariani, P. L., & Arifin, Z. (2023). Biokonsentrasi Faktor (BCF) dan Faktor Translokasi (TF) Purun tikus (*Eleocharis dulcis*) dalam Fitoremediasi Air Asam Tambang. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL)*, 5(1), 76–82.
- Putri, D. A., Rahayu, S., & Nugraha, A. (2023). Analisis Kandungan Logam Berat Fe dan Pb pada Air Sungai Code di Kota Yogyakarta. *Jurnal Ilmu Lingkungan Indonesia*, 11(2), 45–54.
- Rahayu, D. R., & Mangkoedihardjo, S. (2022). Kajian Bioaugmentasi untuk Menurunkan Konsentrasi Logam Berat di Wilayah Perairan Menggunakan Bakteri (Studi Kasus: Pencemaran Merkuri di Sungai Krueng Sabee, Aceh Jaya). *Jurnal Teknik ITS*, 11(1), F15–F22.
- Rahmawati, A. Y. (2023). *Fitoremediasi Tanaman Hydrilla (Hydrilla verticillata) Untuk Menurunkan Kadar Logam Berat Seng (Zn) Dengan Menggunakan Sistem Batch*. UIN Sunan Ampel Surabaya.
- Raklami, A., Meddich, A., Oufdou, K., & Baslam, M. (2022). Plants-Microorganisms-Based Bioremediation for Heavy Metal Cleanup: Recent Developments, Phytoremediation Techniques, Regulation Mechanisms, and Molecular Responses. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(9), 5031. <https://doi.org/10.3390/ijms23095031>
- Ramadani, R., Samsunar, S., & Utami, M. (2021). Analisis Suhu, Derajat Keasaman (pH), Chemical Oxygen Demand (COD), dan Biologycal Oxygen Demand (BOD) dalam Air Limbah Domestik di Dinas Lingkungan Hidup Sukoharjo. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 12–22. <https://doi.org/10.20885/ijcr.vol6.iss1.art2>
- Rangkang, J., Samang, L., Adisasmita, S. A., & Hustim, M. (2019). Pengaruh Intensitas Curah

- Hujan Terhadap Tingkat Infiltrasi Pada Eco-Concrete Paving Block. *Jurnal Simetrik*, 9(1), 159–163. <https://doi.org/10.31959/js.v9i1.214>
- Ranjan, A., Rajput, V. D., Prazdnova, E. V., Gurnani, M., Sharma, S., Bhardwaj, P., Shende, S. S., Mandzhieva, S. S., Sushkova, S., & Minkina, T. (2024). Augmenting Abiotic Stress Tolerance and Root Architecture: The Function of Phytohormone-Producing PGPR and Their Interaction with Nanoparticles. *South African Journal of Botany*, 167, 612–629. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.02.041>
- Reis, M. P., Dias, M. F., & Castro, M. R. (2021). *Microbial communities in iron-rich sediments: diversity and biogeochemical functions*. *Microbial Ecology*, 81(3), 637–652.
- Rezania, S., Taib, S. M., Din, M. F. M., Dahalan, F. A., & Kamyab, H. (2016). Comprehensive Review on Phytotechnology: Heavy Metals Removal by Diverse Aquatic Plants Species from Wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, 318, 587–599. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.07.053>
- Rinawati, R., Hidayat, D., Supriyanto, S., & Sari Dewi, P. (2016). Penentuan Kandungan Zat Padat (Total Dissolve Solid dan Total Suspended Solid) di Perairan Teluk Lampung. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 1(1), 36–45.
- Riyazuddin, R., Nisha, N., Ejaz, B., Khan, M. I. R., Kumar, M., Ramteke, P. W., & Gupta, R. (2021). A Comprehensive Review on the Heavy Metal Toxicity and Sequestration in Plants. *Biomolecules*, 12(1), 1–26. <https://doi.org/10.3390/biom12010043>
- Rizwan, B., Zaki, M., Javaid, S., Jabeen, Z., Mehmood, M., Riaz, M., Maqbool, L., & Omar, H. (2022). Increase in Body Dysmorphia and Eating Disorders Among Adolescents Due to Social Media: Increase In Body Dysmorphia and Eating Disorders Among Adolescents. *Pakistan BioMedical Journal*, 5(3), 148–152. <https://doi.org/10.54393/pbmj.v5i3.205>
- Rizwan, M., Nawaz, A., Irshad, S., & Manoharadas, S. (2024). Exogenously Applied Melatonin Enhanced Chromium Tolerance in Pepper by Up-regulating the Photosynthetic Apparatus and Antioxidant Machinery. *Scientia Horticulturae*, 323, 112468. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112468>
- Safar, H. (2021). *Analisis Status Mutu Air Sungai Code Menggunakan Metode Storet*. Universitas Islam Indonesia.
- Saha, R., Saha, N., Donofrio, R. S., & Bestervelt, L. L. (2016). *Microbial siderophores: a mini review*. *Journal of Basic Microbiology*, 56(8), 819–834.
- Salim, M. A., Setyaningsih, L., Wahyudi, I., & Budi, S. W. (2021). Effect of Iron Toxicity on the Growth of *Calliandra calothyrsus* and *Leucaena leucocephala* Seedlings. *Journal of Tropical Biodiversity and Biotechnology*, 6(3), 1–13. <https://doi.org/10.22146/jtbb.65654>
- Salt, D. E., Smith, R. D., & Raskin, I. (1998). Phytoremediation. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 49, 643–668
- Salt, D. E., Blaylock, M., Kumar, N. P. B. A., Dushenkov, V., Ensley, B. D., Chet, I., & Raskin, I. (1995). Phytoremediation: A novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. *Bio/Technology*, 13(5), 468–474. <https://doi.org/10.1038/nbt0595-468>
- Samosir, A. M., Syarifah, M., & Sulistiono, S. (2023). Akumulasi Logam Berat Tembaga dan Timbal pada Mangrove *Rhizophora mucronata* di Karangsong, Indramayu. *Jurnal Teknologi Perikanan Dan Kelautan*, 14(1), 101–112. <https://doi.org/10.24319/jtpk.14.101-112>

- Sánchez-Andrea, I., Florentino, A. F., Semerel, J., Strepis, N., Sousa, D. Z., & Stams, A. J. M. (2018). Co-culture of a Novel Fermentative Bacterium, *Lucifera butyrica* Gen. Nov. sp. Nov., With the Sulfur Reducer *Desulfurella Amilsii* for Enhanced Sulfidogenesis. *Frontiers in Microbiology*, 9, 3108. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.03108>
- Santana, I., Julyantoro, P. G. S., & Wijayanti, N. P. P. (2018). Akumulasi logam berat seng (Zn) pada akar dan daun lamun *Enhalus acoroides* di Perairan Pantai Sanur, Bali. *Current Trends in Aquatic Science*, 1(1), 47–56.
- Sari, F. D. N. (2018). Fitoremediasi Air Limbah Rumah Tangga Menggunakan Tanaman Wlingen (*Scirpus grossus*) dan Teratai (*Nymphaea Firecrest*). *Ready Star*, 1(1), 80–90.
- Satria, A. W., Rahmawati, M., & Prasetya, A. (2019). Pengolahan Nitrifikasi Limbah Amonia dan Denitrifikasi Limbah Fosfat dengan Biofilter Tercelup Processing Ammonia Nitrification and Phosphat Denitrification Wastewater with Submerged Biofilter. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 20(2), 243–248.
- Selim, S., Zayed, M., & Abdelhameed, R. M. (2022). *Actinomycetes-mediated siderophore production and its role in phytoremediation of heavy metals*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 245, 114095.
- Shah, S. H., Houborg, R., & McCabe, M. F. (2017). Response of Chlorophyll, Carotenoid and SPAD-502 Measurement to Salinity and Nutrient Stress in Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agronomy*, 7(3), 61. <https://doi.org/10.3390/agronomy7030061>
- Shahid, M., Singh, U. B., Khan, M. S., Singh, P., Kumar, R., Singh, R. N., Kumar, A., & Singh, H. V. (2023). Bacterial ACC Deaminase: Insights Into Enzymology, Biochemistry, Genetics, and Potential role in Amelioration of Environmental Stress in Crop Plants. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1–23. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1132770>
- Sharma, H., Rawal, N., & Mathew, B. B. (2015). Cadmium: Toxicity Effect and its Mechanism. *Research Journal of Pharmacology and Toxicology*, 1(01), 1–5.
- Sharma, M., Kant, R., Sharma, A. K., & Sharma, A. K. (2025). Exploring the Impact of Heavy Metals Toxicity in the Aquatic Ecosystem. *International Journal of Energy and Water Resources*, 9(1), 267–280. <https://doi.org/10.1007/s42108-024-00284-1>
- Sharma, P. (2022). Role and Significance of Biofilm-forming Microbes in Phytoremediation-a Review. *Environmental Technology & Innovation*, 25, 102182. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102182>
- Shivappa, S., Amritha, K. P., Nayak, S., Chandrashekar, H. K., Thorat, S. A., Kaniyassery, A., Govender, N., Thiruvengadam, M., & Muthusamy, A. (2025). Integration of Physio-Biochemical, Biological and Molecular Approaches to Improve Heavy Metal Tolerance in Plants. *3 Biotech*, 15(4), 1–28. <https://doi.org/10.1007/s13205-025-04248-y>
- Shoolikhah, I., Purnama, S., & Suprayogi, S. (2014). Kajian Kualitas Air Sungai Code Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. *Majalah Geografi Indonesia*, 28(1), 23–32. <https://doi.org/10.22146/mgi.13062>
- Sitoresmi, P. W. (2015). *Pemanfaatan Constructed Wetland dengan Tanaman Papirus (Cyperus papyrus) untuk Pengolahan Surfaktan dalam Air Limbah Laundry*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Siyar, R., Doulati Ardejani, F., Norouzi, P., Maghsoudy, S., Yavarzadeh, M., Taherdangkoo, R., & Butscher, C. (2022). Phytoremediation Potential of Native Hyperaccumulator Plants Growing on Heavy Metal-contaminated Soil of Khatunabad Copper Smelter and

- Refinery, Iran. *Water*, 14(22), 1–19. <https://doi.org/10.3390/w14223597>
- Stobczyk, M. K., Smith, J. A. C., Pollard, A. J., & Filatov, D. A. (2017). Evolution of Nickel Hyperaccumulation and Serpentine Adaptation in the *Alyssum serpyllifolium* Species Complex. *Heredity*, 118(1), 31–41. <https://doi.org/10.1038/hdy.2016.93>
- Stumm, W., & Morgan, J. J. (1996). *Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters* (3rd ed.). Wiley-Interscience
- Sukirno, Irianto, B., & Murniasih, S. (2007). *The Evaluation of Metals in Water and Sediment of Code River Using NAA (Phase 2); Evaluasi Logam dalam Air dan Sedimen Sungai Code dengan Teknik AAN (Tahap 2)*.
- Suryono, S., Taufiq-SPJ, N., Pratikto, I., & Ario, R. (2020). Sebaran Mangrove di Desa Bumiharjo Kecamatan Keling Kabupaten Jepara. *Buletin Oseanografi Marina*, 9(2), 117–124. <https://doi.org/10.14710/buloma.v9i2.29067>
- Susilo, F. H. (2023). *Isolasi Bakteri Endogen dan Endofit pada Tanah dan Akar Tanaman Typha Latifolia untuk Mengolah Air Lindi*. Universitas Islam Indonesia.
- Sutadian, A. D., Muttill, N., Yilmaz, A. G., & Perera, B. J. C. (2016). Development of River Water Quality Indices-a Review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(1), 58. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-5050-0>
- Sutaryo, S., Adiwiranti, R., Sudrajad, M. A., Sari, T. Y. K., Khayati, L. N., Ward, A. J., & Purnomoadi, A. (2021). Enhancing Methane Production of Dairy Cow Manure by Co-Digestion with Modified Cassava Flour Waste Water. *Analytical Methods*, 120(4.24), 13–59.
- Syiva'a, A. (2019). Analisis Kualitas Air Melalui Deteksi Fe pada Sungai di DIY. *OSF*, 1–8.
- Taheri, Y., Herrera-Bravo, J., Huala, L., Salazar, L. A., Sharifi-Rad, J., Akram, M., Shahzad, K., Melgar-Lalanne, G., Baghalpour, N., & Tamimi, K. (2021). Cyperus spp: A Review on Phytochemical Composition, Biological Activity, and Health-Promoting Effects. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2021(1), 1–17. <https://doi.org/10.1155/2021/4014867>
- Tarigan, Y. F., Aida, Y., & Jati, A. W. N. (2013). Kandungan Kadmium (Cd) pada Air Sungai dan Ikan Mas (*Cyprinus carpio* Linnaeus) di Sungan Code Yogyakarta. *Jurnal Biologi*, 1–15.
- Tangahu, B. V., Sheikh Abdullah, S. R., Basri, H., Idris, M., Anuar, N., & Mukhlisin, M. (2011). A review on heavy metals (As, Pb, and Hg) uptake by plants through phytoremediation. *International Journal of Chemical Engineering*, 2011, 1–31. <https://doi.org/10.1155/2011/939161>
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant Physiology and Development* (6th ed.). Sinauer Associates
- Tempo. (2024). Limbah Domestik dan Pencemaran Sungai Code Masih Tinggi, Warga Diminta Tidak Buang Sampah ke Sungai. *Tempo.co*, 12 Maret 2024.
- Timofeeva, A. M., Galyamova, M. R., & Sedykh, S. E. (2022). Bacterial Siderophores: Classification, Biosynthesis, Perspectives of Use in Agriculture. *Plants*, 11(22), 3065. <https://doi.org/10.3390/plants11223065>
- Tosepu, R. (2012). Laju Penurunan Logam Berat Plumbum (Pb) Dan Cadmium (Cd) Oleh *Eichornia crassipes* Dan *Cyperus papyrus* (the Diminution Rate of Heavy Metals, Plumbum and Cadmium by *Eichornia crassipes* and *Cyperus*). *Jurnal Manusia Dan*

- Lingkungan*, 19(1), 37–45. <https://doi.org/10.22146/jml.18450>
- Uka, U. N., Belford, E. J. D., & Hogarth, J. N. (2019). Roadside Air Pollution in a Tropical City: Physiological and Biochemical Response from Trees. *Bulletin of the National Research Centre*, 43(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s42269-019-0117-7>
- Ulumudin, M. M., & Purnomo, T. (2022). Analisis Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) pada Tumbuhan Papirus (*Cyperus papyrus* L.) di Sungai Wangi Pasuruan. *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi*, 11(2), 273–283. <https://doi.org/10.26740/lenterabio.v11n2.p273-283>
- Undang-Undang (UU) Nomor 18 Tahun 2008 Tentang Pengelolaan Sampah (2008).
- Vasilachi, I. C., Stoleru, V., & Gavrilescu, M. (2023). Analysis of Heavy Metal Impacts on Cereal Crop Growth and Development in Contaminated Soils. *Agriculture*, 13(10), 1983. <https://doi.org/10.3390/agriculture13101983>
- Verbon, E. H., & Liberman, L. M. (2016). Beneficial Microbes Affect Endogenous Mechanisms Controlling Root Development. *Trends in Plant Science*, 21(3), 218–229.
- Voccianti, M., Grifoni, M., Fusini, D., Petruzzelli, G., & Franchi, E. (2022). The Role of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) in Mitigating Plant's Environmental Stresses. *Applied Sciences*, 12(3), 1–16. <https://doi.org/10.3390/app12031231>
- Widyastuti, M., Jayanto, G. D., & Irshabdillah, M. R. (2020). Water Quality Analysis of Code River Based on Metal and Nonmetal Parameters Using Heavy Metal Pollution Index. *Jurnal Geografi*, 145–158.
- Wiegand, S., Jogler, M., & Jogler, C. (2020). *Planctomycetes as a unique phylum of bacteria: cell biology, evolution, and environmental significance*. Annual Review of Microbiology, 74, 123–147.
- Wong, C. S., Cobbett, C. S., & Romheld, V. (2007). Heavy metal transporters in plants: mechanisms and regulation. *Journal of Experimental Botany*, 58(3), 603–610. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl254>
- Wu, H., Fang, L., Yu, Q., Yuan, J., & Yang, C. (2023). Plant Leaf Identification Based on Shape and Convolutional Features. *Expert Systems with Applications*, 219, 119626. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.119626>
- Yadav, S. K. (2010). Heavy metals toxicity in plants: an overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants. *South African Journal of Botany*, 76(2), 167–179. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2009.10.007>
- Yulisa, A., & Choesin, D. N. (2016). Effectivity of Vetiveria Zizanioides and Cyperus papyrus in Reducing Iron (Fe) Concentration in Wastewater Processed in a Constructed Wetland System. *International Journal of Advances in Agricultural & Environmental Engg (IJAAEE)*, 3(1), 110–113. <https://doi.org/10.15242/IJAAEE.AE0216137>
- Zendrato, E. T. A., & Lase, N. K. (2025). Peran Mikroorganisme dalam Meningkatkan Produktivitas Tanaman: Pendekatan Bioteknologi Berbasis Mikrobiologi Pertanian. *Hidroponik: Jurnal Ilmu Pertanian Dan Teknologi Dalam Ilmu Tanaman*, 2(1), 142–151. <https://doi.org/10.62951/hidroponik.v2i1.234>
- Zhao, M., Zeng, S., Liu, S., Li, Z., & Jing, L. (2020). Metal Accumulation by Plants Growing in China: Capacity, Synergy, and Moderator Effects. *Ecological Engineering*, 148, 105790. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105790>

Zhang, Z., et al. (2025). Changes of photosynthetic characteristics, stomatal density, and photosynthetic pigment content in response to combined metal stress in plants. *Science of the Total Environment*, 872, 158806. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.158806>

Zhu, Y., Liu, W., & Li, J. (2020). *Iron bioremediation potential of Bacillales isolated from metal-contaminated sediments*. *Journal of Hazardous Materials*, 388, 121746

