

**Akumulasi dan Toleransi Tembaga (Cu) pada Kultur Kalus
Talinum paniculatum (Jacq.) Gaertn.**

Skripsi



Yunita Kendek Marendeng

31200367

**Program Studi Biologi
Fakultas Bioteknologi**

Universitas Kristen Duta Wacana

Yogyakarta

2024

**Akumulasi dan Toleransi Tembaga (Cu) pada Kultur Kalus
Talinum paniculatum (Jacq.) Gaertn.**

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Pada Program Studi Biologi, Fakultas Bioteknologi
Universitas Kristen Duta Wacana



Yunita Kendek Marendeng

31200367

Program Studi Biologi

Fakultas Bioteknologi

Universitas Kristen Duta Wacana

Yogyakarta

2024

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
SKRIPSI/TESIS/DISERTASI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika Universitas Kristen Duta Wacana, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yunita Kendek Marendeng
NIM : 31200367
Program studi : Biologi
Fakultas : Bioteknologi
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Kristen Duta Wacana **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“Akumulasi dan Toleransi Tembaga (Cu) pada Kultur Kalus *Talinum paniculatum* (Jacq.) Gaertn.”

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Kristen Duta Wacana berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama kami sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Yogyakarta

Pada Tanggal : 12 Agustus 2024

Yang menyatakan,



(Yunita Kendek Marendeng)

NIM. 31200367

LEMBAR PENGESAHAN NASKAH SKRIPSI

Skripsi dengan judul:

AKUMULASI DAN TOLERANSI TEMBAGA (Cu) PADA KULTUR KALUS *Talinum paniculatum* (Jacq.) Gaertn.

Telah diajukan dan dipertahankan oleh :

YUNITA KENDEK MARENDENG

31200367

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 07 Agustus 2024


Nama Dosen

Tanda Tangan

1. Dra. Aniek Prasetyaningsih, M.Si

(Ketua Tim Penguji)

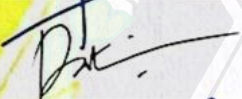
:



2. Ratih Restiani S.Si., M.Biotech

(Dosen Pembimbing I/Dosen Penguji)

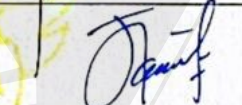
:



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

(Dosen Pembimbing II/Dosen Penguji)

:




Yogyakarta, 16 Agustus 2024

Disahkan oleh :

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 SKRIPSI

Judul Skripsi : Akumulasi dan Toleransi Tembaga (Cu) pada Kultur Kalus
Talinum paniculatum (Jacq.) Gaertn.

Nama : Yunita Kendek Marendeng

NIM : 31200367

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

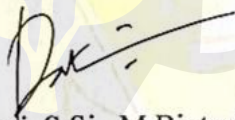
Pembimbing II : Dwi Adityarini, S.Si., M.Biotech., M.Sc

Hari/Tanggal Presentasi : Rabu, 07 Agustus 2024

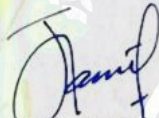
Disetujui oleh :

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,


Ratih Restiani, S.Si., M.Biotech

NIK. 174 E 449



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

NIK. 214 E 556

Mengetahui,

Ketua Program Studi Biologi,

DUKA WACANA


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

NIK. 214 E 556

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Yunita Kendek Marendeng

NIM : 31200367

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

“Akumulasi dan Toleransi Tembaga (Cu) pada Kultur Kalus *Talinum paniculatum* (Jacq.) Gaertn.”

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 bertanggungjawab dan saya bersedia menerima sanksi pembatalan skripsi apabila terbukti melakukan duplikasi terhadap skripsi atau karya ilmiah lain yang sudah ada.

Yogyakarta, 01 Agustus 2024



(Yunita Kendek Marendeng)

NIM : 31200367

KATA PENGANTAR

Penulis mengucapkan Puji dan Syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat, karunia, penyertaan dan perkenaan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul Akumulasi dan Toleransi Tembaga (Cu) pada Kultur Kalus *Talinum paniculatum* (Jacq.) Gaertn dengan baik, sebagai salah satu kewajiban mahasiswa akhir Program Studi Biologi Fakultas Bioteknologi Universitas Kristen Duta Wacana untuk memperoleh kelulusan dan gelar Sarjana Sains (S.Si)

Penulis menyadari banyak pihak yang telah mendukung bahkan terlibat dalam penyelesaian skripsi ini, sehingga pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapa, Yesus Kristus, dan Roh Kudus atas segala berkat, hikmat, tuntunan dan penyertaan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik
2. Ibu Ratih Restiani S.Si., M.Biotech selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah membimbing dan mentransfer ilmunya yang begitu banyak kepada penulis dengan begitu sabar, bijaksana, dan penuh kasih sayang.
3. Ibu Dwi Aditiyarini, S.Si., M.Biotech., M.Sc selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang juga telah memberikan banyak nasihat, saran dan masukan dalam penelitian dan penulisan skripsi ini.
4. Papa Yohanis Tammu, Mama Esther, Kakak Adol, Kakak Endik, dan Kakak Edy atas segala doa, dukungan, perhatian, dan kasih sayang yang diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan baik.
5. Mbak Gemma Galgani Kharisma, S.Si atas bantuan yang diberikan selama penulis melaksanakan penelitian di Laboratorium dengan penuh kesabaran.
6. Saudara dan Sahabat Meisi, Rissa, Vena, yang telah memberikan waktunya untuk menemani penulis dalam pengamatan kalus dan pengambilan data bahkan hingga larut malam di Laboratorium.
7. Teman se-penelitian Gracia dan Miranda untuk semua diskusi dan bantuan yang diberikan selama penelitian di Laboratorium dan penulisan naskah skripsi.
8. Sahabat se-perjuangan Kesya, Omi, Aulia, Ketrin, Melda, Isri, dan Olip yang selalu setia memberikan dukungan dalam masa penelitian hingga penulisan.
9. Semua teman dan kerabat yang telah membantu dalam proses penelitian hingga penyusunan skripsi ini.

Penulis sadar bahwa dalam penyusunan naskah skripsi ini masih belum sempurna, sehingga membutuhkan kritik dan saran yang membangun dari para pembaca untuk menyempurnakan penyusunan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan agen fitoremediasi di masa yang akan datang dan menjadi acuan ataupun inspirasi untuk keberlanjutan penelitian yang memiliki relevansi dengan penelitian ini.

Yogyakarta, 07 Agustus 2024

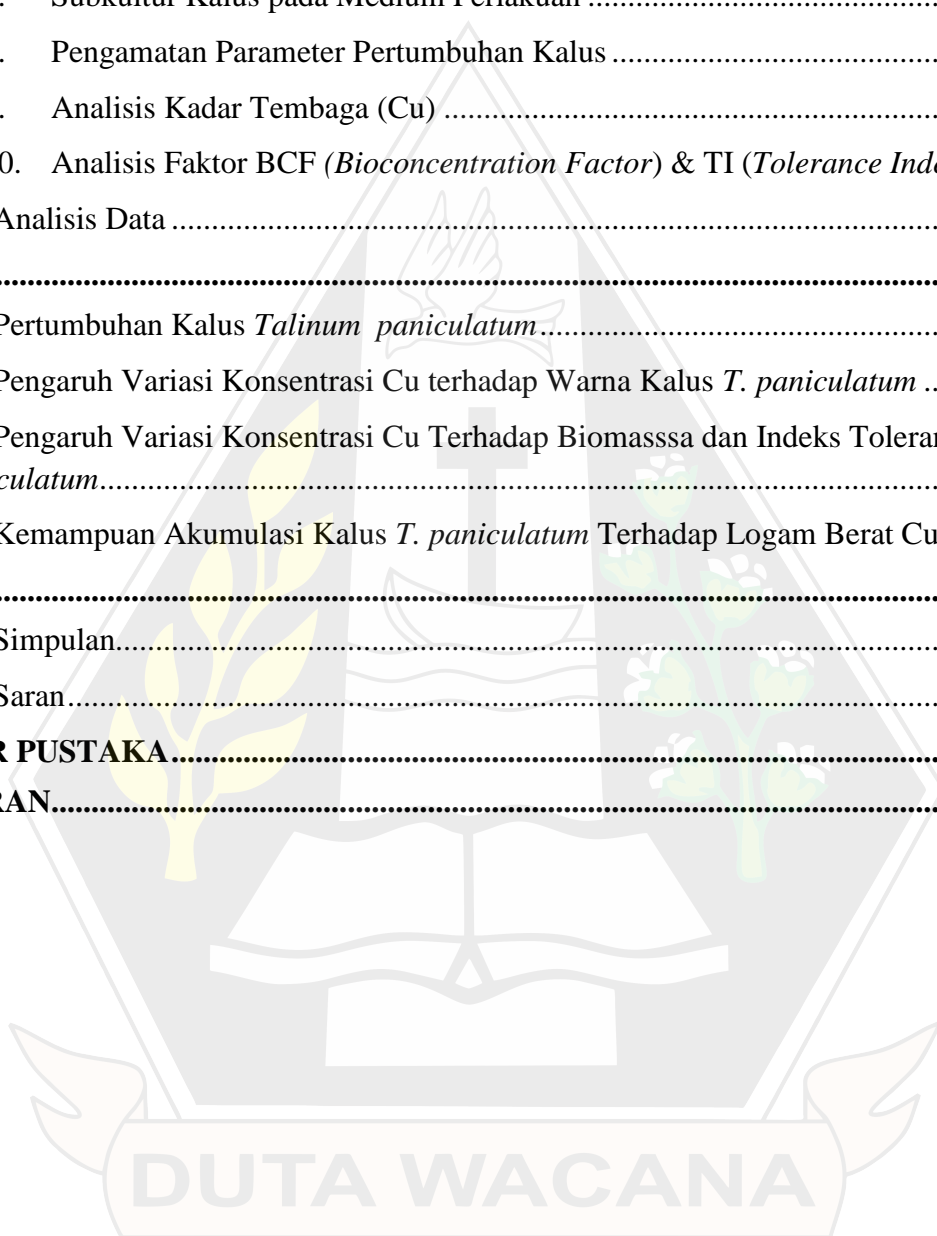
Penulis



DAFTAR ISI

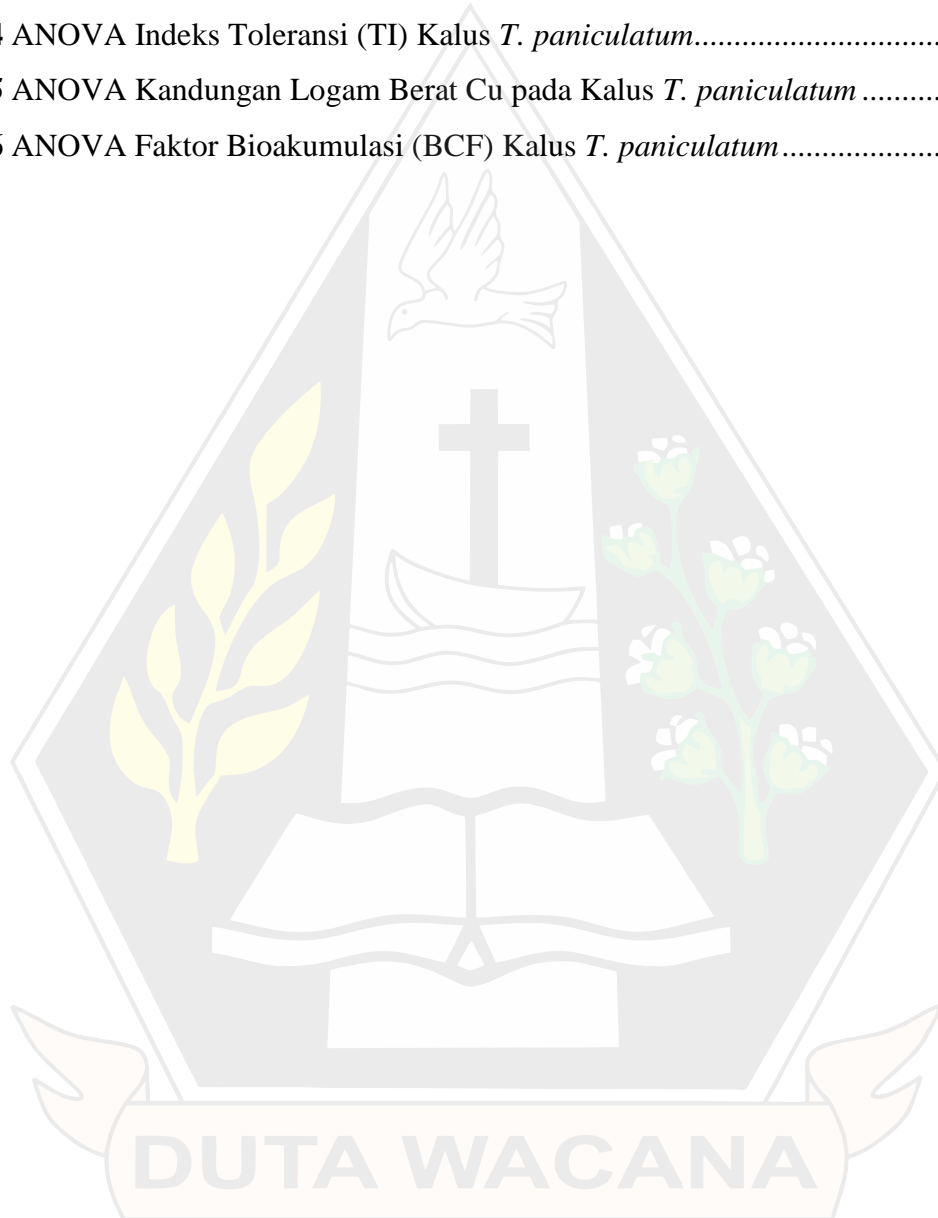
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN JUDUL BAGIAN DALAM.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN NASKAH SKRIPSI	iii
LEMBAR PERSETUJUAN NASKAH SKRIPSI.....	iv
LEMBAR PERNYATAAN	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
ABSTRAK	xiii
ABSTRACT.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Logam Berat Tembaga (Cu) dan Dampaknya.....	5
2.2. Fitoremediasi	8
2.3. Tanaman Ginseng Jawa (<i>Talinum paniculatum</i> (Jacq.) Gaertn.).....	10
2.4. Kultur <i>In Vitro</i> untuk Seleksi Tanaman Toleran Logam Berat.....	12
BAB III METODE PENELITIAN	14
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	14
3.2. Bahan Penelitian.....	14
3.3. Alat Penelitian	14
3.4. Desain Penelitian.....	14
3.4.1. Variabel penelitian	15
3.4.2. Perlakuan.....	15
3.4.3. Rancangan Perlakuan.....	15
3.5. Tahapan Penelitian	16
3.6. Cara Kerja	16
3.6.1. Pembuatan Media Pertumbuhan dan Media Perlakuan	16

3.6.2.	Sterilisasi Alat dan Bahan	17
3.6.3.	Persiapan Eksplan	17
3.6.4.	Pra-Sterilisasi Eksplan	17
3.6.5.	Sterilisasi Eksplan	18
3.6.6.	Inokulasi Eksplan	18
3.6.7.	Subkultur Kalus pada Medium Perlakuan	18
3.6.8.	Pengamatan Parameter Pertumbuhan Kalus	19
3.6.9.	Analisis Kadar Tembaga (Cu)	19
3.6.10.	Analisis Faktor BCF (<i>Bioconcentration Factor</i>) & TI (<i>Tolerance Index</i>)	19
3.7.	Analisis Data	20
BAB IV	21
4.1.	Pertumbuhan Kalus <i>Talinum paniculatum</i>	21
4.2.	Pengaruh Variasi Konsentrasi Cu terhadap Warna Kalus <i>T. paniculatum</i>	22
4.3.	Pengaruh Variasi Konsentrasi Cu Terhadap Biomassa dan Indeks Toleransi Kalus <i>T. paniculatum</i>	25
4.4.	Kemampuan Akumulasi Kalus <i>T. paniculatum</i> Terhadap Logam Berat Cu (BCF)	33
BAB V	37
5.1.	Simpulan	37
5.2.	Saran	37
DAFTAR PUSTAKA	38
LAMPIRAN	45



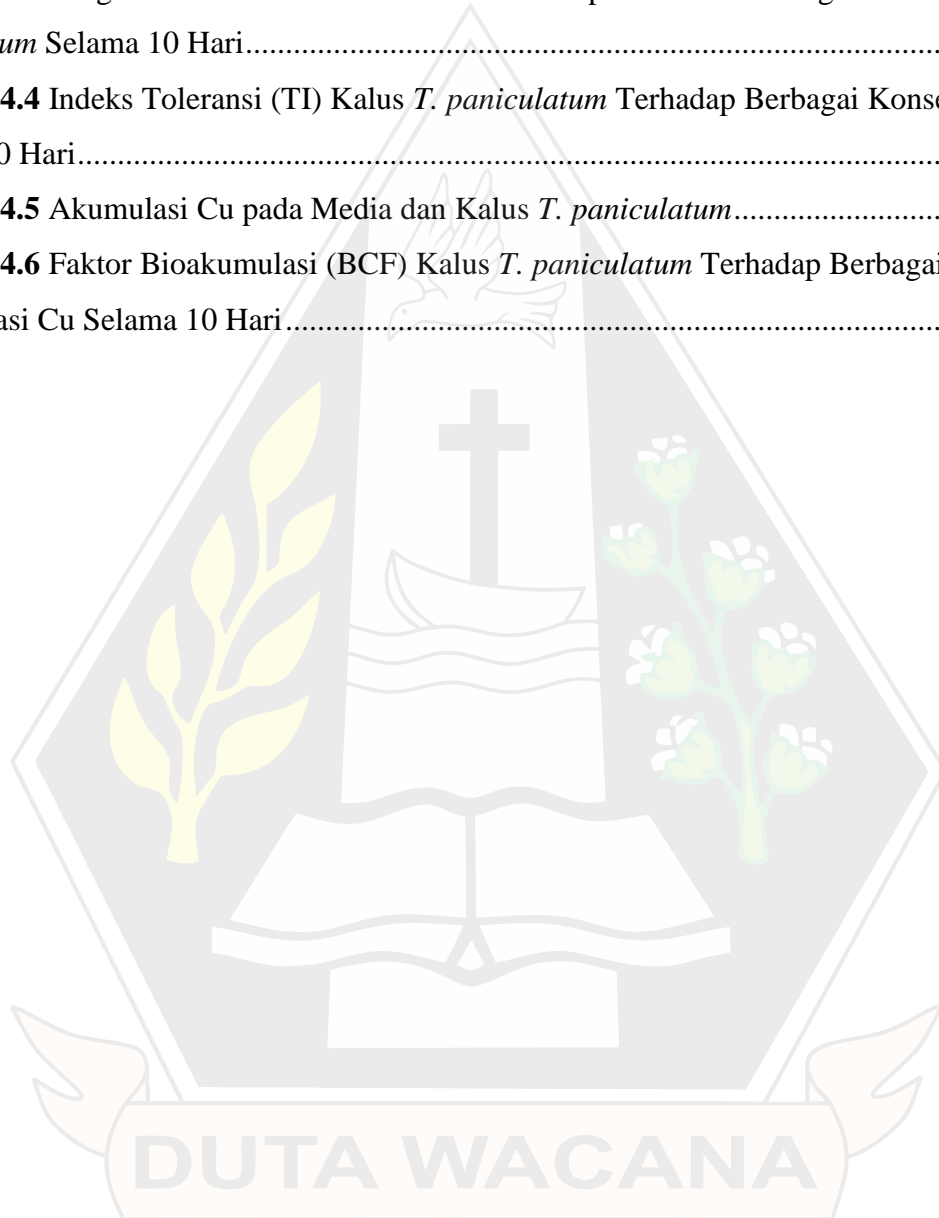
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Statistik Deskriptif Logam Berat pada Lahan Pertanian di Daerah Penelitian	7
Tabel 4.1 Morfologi kalus <i>T. paniculatum</i> pada media perlakuan Cu	23
Tabel 4.2 ANOVA Berat Basah Kalus <i>T. paniculatum</i>	26
Tabel 4.3 ANOVA Berat Kering Kalus <i>T. paniculatum</i>	29
Tabel 4.4 ANOVA Indeks Toleransi (TI) Kalus <i>T. paniculatum</i>	32
Tabel 4.5 ANOVA Kandungan Logam Berat Cu pada Kalus <i>T. paniculatum</i>	34
Tabel 4.6 ANOVA Faktor Bioakumulasi (BCF) Kalus <i>T. paniculatum</i>	36



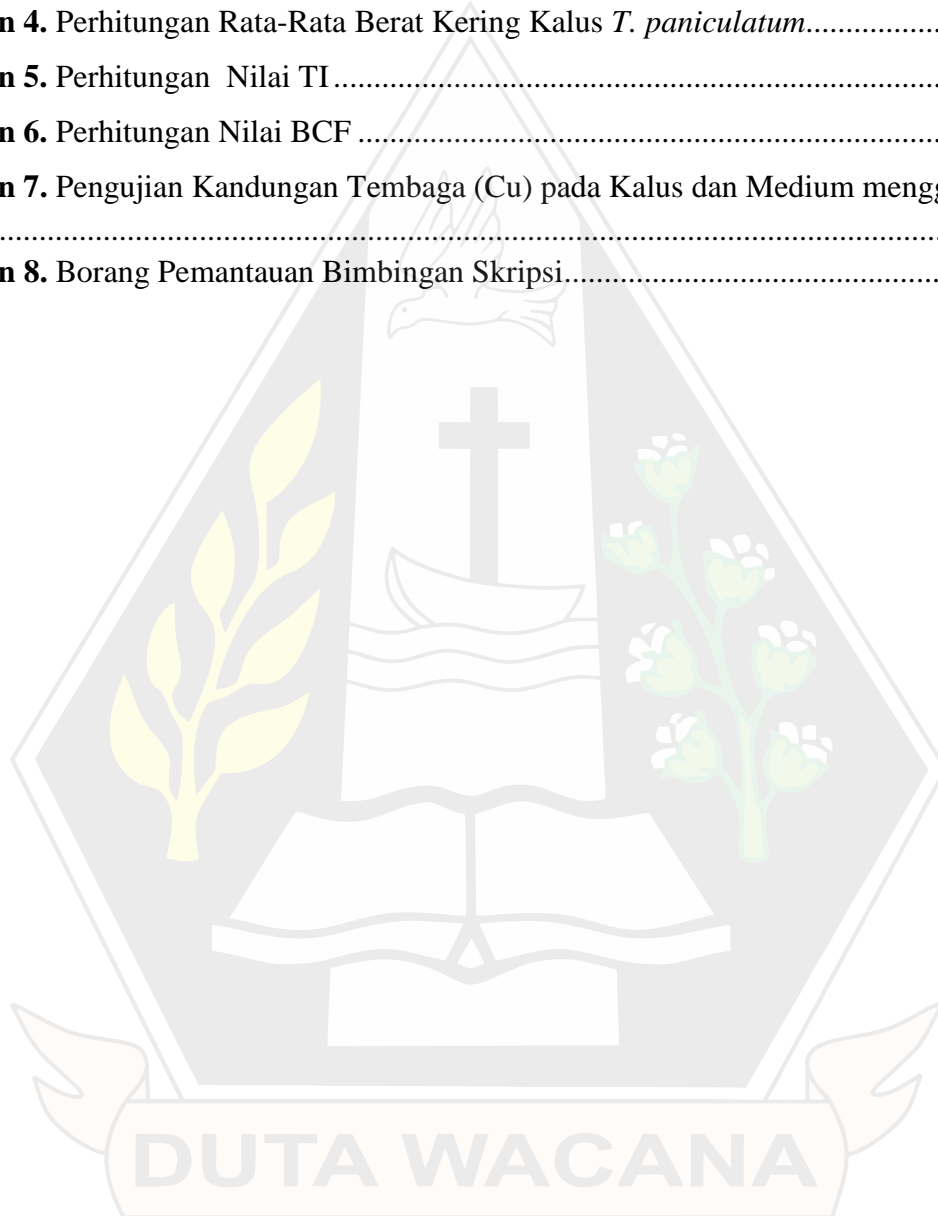
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tanaman Gingseng Jawa (<i>T. paniculatum</i> (Jacq.) Gaertn)	10
Gambar 4.1 Morfologi pertumbuhan kalus <i>T. paniculatum</i> selama 34 hari.....	21
Gambar 4.2 Berat Basah Kalus <i>T. paniculatum</i> Hari Ke – 0, Hari Ke – 7, dan.....	25
Gambar 4.3 Pengaruh Variasi Konsentrasi Cu Terhadap Biomassa Kering Kalus <i>T. paniculatum</i> Selama 10 Hari.....	27
Gambar 4.4 Indeks Toleransi (TI) Kalus <i>T. paniculatum</i> Terhadap Berbagai Konsentrasi Cu Selama 10 Hari.....	30
Gambar 4.5 Akumulasi Cu pada Media dan Kalus <i>T. paniculatum</i>	33
Gambar 4.6 Faktor Bioakumulasi (BCF) Kalus <i>T. paniculatum</i> Terhadap Berbagai Konsentrasi Cu Selama 10 Hari.....	34



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Pengamatan Morfologi Pertumbuhan Kalus <i>T. paniculatum</i>	45
Lampiran 2. Hasil Pengamatan Morfologi Kalus <i>T. paniculatum</i> dengan Perlakuan Logam Berat Cu	45
Lampiran 3. Perhitungan Rata-Rata Berat Basah Kalus <i>T. paniculatum</i>	55
Lampiran 4. Perhitungan Rata-Rata Berat Kering Kalus <i>T. paniculatum</i>	56
Lampiran 5. Perhitungan Nilai TI	57
Lampiran 6. Perhitungan Nilai BCF	58
Lampiran 7. Pengujian Kandungan Tembaga (Cu) pada Kalus dan Medium menggunakan FAAS.....	59
Lampiran 8. Borang Pemantauan Bimbingan Skripsi.....	67



ABSTRAK

Akumulasi dan Toleransi Tembaga (Cu) pada Kultur Kalus

Talinum paniculatum (Jacq.) Gaertn.

YUNITA KENDEK MARENDENG

Cu adalah salah satu logam berat yang sering digunakan sebagai bahan pestisida dalam bidang pertanian dan apabila digunakan secara berlebihan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Proses fitoremediasi digunakan untuk menyerap, mendegradasi, menstabilkan, atau menghancurkan bahan pencemar, terutama logam organik yang ada di lingkungan. *Talinum paniculatum* (Jacq.) Gaertn. merupakan salah satu tanaman yang berpotensi dalam proses fitoremediasi logam berat karena sifat akumulator pada jaringannya. Kultur *in vitro* dapat dijadikan sebagai alternatif untuk melihat kemampuan alami dari tanaman dalam proses akumulasi dan toleransi logam berat. Penelitian ini bertujuan untuk melihat kemampuan akumulasi dan toleransi logam berat tembaga (Cu) pada kultur kalus *T. paniculatum* (Jacq.) Gaertn. Penelitian dimulai dengan perbanyakan kalus *T. paniculatum* secara *in vitro*, subkultur kalus pada media perlakuan logam berat Cu dengan konsentrasi 5 ppm, 10 ppm, dan 20 ppm, pengamatan morfologi kalus, perhitungan biomassa kalus, analisis nilai TI dan BCF. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kalus *T. paniculatum* dapat mengakumulasi logam berat Cu hingga konsentrasi tertinggi yakni 20 ppm dengan nilai faktor bioakumulasi paling tinggi adalah 3,612. Kalus *T. paniculatum* juga memiliki sifat toleran pada semua perlakuan konsentrasi Cu dengan nilai TI > 100% yakni, 115,07%, 112,33% dan 115,07% serta didukung oleh morfologi kalus yang tidak mengalami perubahan warna yang nyata menjadi kehitaman yang menandakan sel masih dapat bertahan hidup pada cekaman logam berat Cu dilihat dari perbandingan hari ke - 0 dan hari ke - 10. Kesimpulan penelitian yakni kalus *T. paniculatum* dapat mengakumulasi logam berat Cu pada konsentrasi 5 ppm, 10 ppm, 20 ppm, dan bersifat toleran terhadap konsentrasi tersebut.

Kata Kunci : Akumulasi, *Talinum paniculatum*, kultur *in vitro*, Cu, toleransi.

DUTA WACANA

ABSTRACT

Copper (Cu) Accumulation and Tolerance in Callus Cultures of *Talinum paniculatum* (Jacq.) Gaertn.

YUNITA KENDEK MARENDENG

*Cu is one of the heavy metals that is often used as a pesticide in agriculture and if used excessively can cause environmental pollution. The phytoremediation process is used to absorb, degrade, stabilize, or destroy pollutants, especially organic metals in the environment. *Talinum paniculatum* (Jacq.) Gaertn. is one of the plants that has the potential in the phytoremediation process of heavy metals because of the accumulator properties of its tissue. In vitro culture can be used as an alternative to see the natural ability of plants in the process of accumulation and tolerance of heavy metals. This study aims to see the ability of accumulation and tolerance of copper (Cu) heavy metals in *T. paniculatum* (Jacq.) Gaertn callus culture. The study began with in vitro propagation of *T. paniculatum* callus, subculture of callus on Cu heavy metal treatment media with concentrations of 5 ppm, 10 ppm, and 20 ppm, observation of callus morphology, calculation of callus biomass, analysis of TI and BCF values. The results of the study showed that *T. paniculatum* callus could accumulate heavy metal Cu up to the highest concentration of 20 ppm with the highest bioaccumulation factor value of 3.612. *T. paniculatum* callus also had tolerant properties in all Cu concentration treatments with TI values > 100%, namely, 115.07%, 112.33% and 115.07% and supported by the morphology of the callus which did not experience a significant color change to blackish which indicated that the cells could still survive Cu heavy metal stress as seen from the comparison of day 0 and day 10. The conclusion of the study was that *T. paniculatum* callus could accumulate heavy metal Cu at concentrations of 5 ppm, 10 ppm, 20 ppm, and was tolerant to these concentrations.*

Keywords: *Accumulation, *Talinum paniculatum*, in vitro culture, Cu, tolerance.*



DUTA WACANA

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pertanian menjadi satu dari berbagai sektor yang sangat lekat dengan manusia. Hasil pertanian digunakan manusia sebagai bahan pokok yang dikonsumsi dalam kehidupan sehari-hari. Hingga pada saat ini banyak ditemukan kasus pencemaran pada hasil pertanian yang salah satunya adalah logam berat. Logam berat dapat mencemari tanah maupun air yang digunakan masyarakat dalam aktivitas pertanian. Pada tanah yang tercemar logam berat, tentunya akan mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman seperti kerusakan pada daun, tanaman menjadi kerdil, terjadinya klorosis, dan terakumulasi pada tubuh tanaman yang selanjutnya dikonsumsi manusia dan bisa menjadi racun dalam tubuh manusia. Ada berbagai faktor yang menyebabkan logam berat termasuk dalam kategori zat pencemar salah satunya karena sifat dari logam berat yang mudah diserap dan tidak dapat terurai (*non degradable*). Sebaran logam berat yang ada ke lingkungan terutama disebabkan karena pembuangan limbah. Bahan pencemar yang dihasilkan dari berbagai aktivitas industri disebarkan oleh angin, larut dalam air ketika dibuang ke badan air, dan mengendap di dasar air (sedimen). Kehadiran logam di lingkungan sebagian disebabkan oleh fenomena alam seperti aktivitas gunung merapi dan erosi, namun sebagian besar juga berasal dari limbah industri (Ornella, 2011). Tanaman yang terpapar oleh logam berat tembaga (Cu) secara terus menerus akibat dari penggunaan pestisida yang berlebih dapat membahayakan kelangsungan hidup tanaman. Tanaman mudah terkontaminasi logam berat seperti tembaga (Cu) akibat penyemprotan pestisida yang berlebihan. Pestisida disemprotkan untuk membasmi siput dan serangga pada sayuran dan buah-buahan. Selain itu, garam tembaga juga digunakan sebagai komponen larutan “Bordeaux” yang mengandung 1-3% CuSO_4 (tembaga II sulfat) untuk membunuh jamur pada tanaman sayur dan buah. Senyawa CuSO_4 juga banyak digunakan untuk mengendalikan parasit dan siput yang menjadi inangnya, serta untuk mengobati penyakit kuku pada domba (Hastuti, 2019). Sebuah penelitian oleh Handayani *et al.* (2023) mengenai data pencemaran logam berat Cu di Lahan Pertanian Kota Malang, Provinsi Jawa Timur menunjukkan rata-rata pencemaran logam berat Cu di lahan tersebut sebesar 9,72 mg/kg, dengan nilai maksimum sebesar 105,58 mg/kg. Data ini menandakan adanya pencemaran logam berat Cu pada lahan pertanian yang cukup tinggi, dimana hal ini

dapat memberikan dampak negatif bagi lingkungan khususnya bagi hasil pertanian yang memiliki kemungkinan besar tercemar oleh logam berat Cu yang ada pada lahan tersebut. Untuk itu diperlukan strategi untuk dapat menanggulangi masalah terkait pencemaran logam berat yang ada di lingkungan khususnya pada lahan pertanian.

Fitoremediasi dijadikan sebagai teknologi alternatif ataupun pelengkap yang dapat diaplikasikan bersamaan dengan ataupun sebagai pengganti teknik pembersihan secara konvensional yang biasanya membutuhkan investasi modal yang besar, tenaga kerja intensif, dan penggunaan energi yang tinggi (Pandey *et al.*, 2016). Teknik fitoremediasi adalah teknik remediasi *in-situ* yang menggunakan kemampuan alami tumbuhan hidup seperti kemampuan untuk mengakumulasi kontaminan (*phytoextraction*), kemampuan menyerap kontaminan yang ada di jaringan (*phytotransformation*), kemampuan tumbuhan untuk merangsang aktivitas biodegradasi oleh mikroorganisme (*phytostimulation*) dan imobilisasi kontaminan yang ada pada tanah (*phytostabilization*) penyerapan (Manousaki & Kalogerakis, 2011; Wang *et al.*, 2017). Fitoremediasi dapat juga dikatakan sebagai teknologi pemurnian ramah lingkungan yang didasarkan pada pemanfaatan energi matahari dan pemanfaatan alam untuk menjernihkan lingkungan. Fitoremediasi adalah penggunaan tumbuhan untuk menghilangkan pencemaran yang ada di lingkungan. Teknologi ini memanfaatkan tumbuhan untuk menghilangkan berbagai jenis polutan termasuk logam, bahan peledak, minyak, dan pestisida. Tumbuhan dapat membantu membersihkan berbagai jenis polusi termasuk logam, pestisida, bahan peledak, dan minyak (Antoniadis *et al.*, 2017). Melalui teknologi alternatif fitoremediasi, maka pencemaran logam berat yang ada di tanah khususnya pada daerah pertanian dapat diatasi dengan menggunakan tanaman tertentu.

Gonzales de Souza *et al.* (2018) memverifikasi bahwa terdapat toleransi oleh tanaman *Talinum paniculatum* terhadap kelebihan Pb melalui pengukuran respons ekofisiologi dan biokimia. Fenomena ini terjadi karena meningkatnya aktivitas sistem antioksidan enzimatik dan prolin sintase, serta adanya peningkatan pada ketebalan epidermis dan terjadinya efisiensi fotosistem, yang mendukung toleransi *T. paniculatum* terhadap cekaman dari logam berat. Selain itu, menurut Kumar & Prasad (2015) *T. paniculatum* menunjukkan potensi penggunaan genus ini dalam rhizofiltrasi logam berat. Penelitian ini menggunakan sistem *in vitro* dibandingkan sistem *ex vitro* karena dalam sistem *in vitro* kondisi lingkungan eksplan dapat dikontrol dan tidak dipengaruhi oleh komponen lain, selain media pertumbuhan karena berada dalam kondisi yang steril. Berbeda dengan sistem *ex vitro* yang tentunya dapat dipengaruhi oleh berbagai

komponen lain yang ada di alam seperti mikroorganisme lain yang dapat melakukan proses bioremediasi, sehingga sulit untuk dapat melihat kemampuan internal suatu tanaman dalam mengakumulasi logam berat. Penggunaan sistem *in vitro* dapat digunakan untuk melihat kemampuan alami dari tanaman dalam proses fitoremediasi khususnya dalam mengakumulasi logam berat. Kultur kalus dipilih karena dapat mengetahui kemampuan alami dari suatu tanaman dalam mengakumulasi dan mentoleransi suatu logam berat dalam waktu yang singkat atau dapat menjadi mekanisme skrining cepat suatu tanaman dalam mengakumulasi dan mentoleransi suatu logam berat. Pada kultur kalus yang diberi perlakuan cekaman dalam hal ini logam berat juga dapat menyebabkan kerusakan DNA sehingga mengakibatkan terjadinya mutasi DNA (Sharma *et al.*, 2017). Selain itu, pada kultur kalus juga memungkinkan terjadinya perubahan genetik yang menghasilkan variasi somaklonal pada suatu tanaman karena perubahan dalam media kultur yang berbeda dengan media pertumbuhan awal tanaman yang dapat memicu terjadinya cekaman oksidatif dan reaksi metabolik yang abnormal (Smetana *et al.*, 2015). Hal ini dapat menjadi strategi dalam pemilihan tanaman yang toleran terhadap logam berat. Penggunaan kultur *in vitro* juga menjadi bagian dalam strategi pemilihan agen fitoremediasi karena dapat dijadikan sebagai salah satu cara dalam mengoptimalkan proses fitoekstraksi. Dalam hal ini, kalus dapat dijadikan materil atau agregat sel dalam proses seleksi, dimana kalus akan menerima paparan logam berat yang akan ditingkatkan hingga tingkat paling tinggi sesuai kemampuan kalus dalam mentoleransi logam berat (Nurchayati *et al.*, 2016). Dengan melihat penelitian terdahulu mengenai potensi fitoremediasi tanaman *T. paniculatum* ini, maka penelitian ini bertujuan untuk melihat kemampuan tanaman *T. paniculatum* untuk mengakumulasi logam berat Cu yang dilakukan secara *in vitro*.

1.2. Rumusan Masalah

1. Apakah kalus *T. paniculatum* (Jacq.) Gaertn. dapat mengakumulasi logam berat Cu pada konsentrasi 5 ppm, 10 ppm, dan 20 ppm?
2. Berapa konsentrasi Cu yang dapat diakumulasi oleh kalus *T. paniculatum* (Jacq.) Gaertn.?
3. Apakah kalus *T. paniculatum* (Jacq.) Gaertn memiliki sifat toleransi terhadap logam berat Cu pada konsentrasi 5 ppm, 10 ppm, dan 20 ppm?
4. Berapa konsentrasi Cu yang dapat ditoleransi oleh kalus *T. paniculatum* (Jacq.) Gaertn?

1.3. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui kemampuan kalus *T. paniculatum* (Jacq.) Gaertn dalam mengakumulasi logam berat Cu pada berbagai konsentrasi.
2. Mengetahui konsentrasi Cu yang dapat diakumulasi oleh kalus *T. paniculatum* (Jacq.) Gaertn.
3. Mengetahui sifat toleransi kalus *T. paniculatum* (Jacq.) Gaertn. terhadap logam berat Cu pada berbagai konsentrasi.
4. Mengetahui konsentrasi Cu yang dapat ditoleransi oleh kalus *T. paniculatum* (Jacq.) Gaertn.

1.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan informasi terkait kemampuan akumulasi dan toleransi tanaman *Talinum paniculatum* (Jacq.) Gaertn. terhadap logam berat Cu secara *in vitro*.
2. Memberikan informasi tentang kandungan logam berat yang terakumulasi pada kalus *Talinum paniculatum* (Jacq.) Gaertn.
3. Dapat digunakan sebagai acuan penelitian selanjutnya yang memiliki relevansi dengan penelitian ini.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Kalus *Talinum paniculatum* memiliki kemampuan untuk mengakumulasi logam berat Cu pada konsentrasi 5 ppm, 10 ppm, 20 ppm dikarenakan nilai BCF yang didapatkan pada semua konsentrasi perlakuan > 1 yakni, 1,742, 3,343, dan 3,612 .
2. Konsentrasi Cu yang dapat diakumulasi oleh kalus *Talinum paniculatum* adalah 5 ppm, 10 ppm, dan 20 ppm dengan konsentrasi terbesar yang dapat diakumulasi adalah 20 ppm yakni 0,0366 mg/g.
3. Kalus *Talinum paniculatum* dapat mentoleransi logam berat Cu pada konsentrasi 5 ppm, 10 ppm, dan 20 ppm dikarenakan nilai TI yang didapatkan pada setiap konsentrasi perlakuan Cu memiliki nilai $> 100\%$ yakni, 115,07%, 112,33% dan 115,07%, sehingga dapat disimpulkan kalus *T. paniculatum* bersifat toleran terhadap logam berat Cu.
4. Konsentrasi Cu yang dapat ditoleransi oleh kalus *Talinum paniculatum* adalah 5 ppm, 10 ppm, dan 20 ppm, dimana hal ini didukung oleh morfologi kalus yang diinkubasi selama 10 hari pada logam berat Cu pada berbagai konsentrasi, yang masih dapat bertahan hidup dan tidak mengalami perubahan warna seluruhnya menjadi kehitaman yang menandakan kalus masih dapat bertumbuh dan tidak mengalami kematian sel sepenuhnya dilihat dari perbandingan hari ke - 0 dan hari ke - 10.

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya yang memiliki relevansi dengan penelitian ini adalah penggunaan konsentrasi logam berat yang lebih tinggi untuk dapat melihat sejauh mana toleransi dari kalus *Talinum paniculatum* hingga pada konsentrasi terbesar. Selain itu, rentang variasi konsentrasi juga harus lebih besar, sehingga dapat dilihat perbedaan nilai baik indeks toleransi maupun nilai faktor bioakumulasi yang signifikan antar perlakuan. Waktu inkubasi kalus pada logam berat Cu juga sebaiknya dilakukan lebih lama untuk melihat seberapa lama adaptasi kalus *Talinum paniculatum* terhadap logam berat Cu.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina Sitinjak, M., Novaliza Isda, M., & Fatonah, S. (2015). *INDUKSI KALUS DARI EKSPLAN DAUN IN VITRO KELADI TIKUS (Typhonium sp.) DENGAN PERLAKUAN 2,4-D DAN KINETIN* (Vol. 8).
- Alloway, B. J. (2013). Heavy metals and metalloids as micronutrients for plants and animals. *Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability*, 195-209.
- Antoniadis, V., Levizou, E., Shaheen, S. M., Ok, Y. S., Sebastian, A., Baum, C., Prasad, M. N. V., Wenzel, W. W., & Rinklebe, J. (2017). Trace elements in the soil-plant interface: Phytoavailability, translocation, and phytoremediation—A review. In *Earth-Science Reviews* (Vol. 171, pp. 621–645). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.06.005>
- Ariani, R., Anggraito, Y. U., Rahayu, E. S., Biologi, J., Fmipa, U. N., & Semarang, I. (2016). RESPON PEMBENTUKAN KALUS KORO BENGUK (*Mucuna pruriens* L.) PADA BERBAGAI KONSENTRASI 2,4-D DAN BAP. In *Jurnal MIPA* (Vol. 39, Issue 1). <http://journal.unnes.ac.id/nju/index.php/JM>
- Anyalogbu, E. A. A., Anadi, C. C., Nweje-Anyalowu, P. C., & Nnoli, M. C. (2017). Use of Waterleaf (*Talinum triangulare*) in Remediation of Soil Exposed to Heavy Metals: A Green Technology Approach. *World Journal of Pharmaceutical and Life Sciences*, 3(9), 48-53.
- Ashrafzadeh, S., & Leung, D. M. (2015). *In Vitro* Breeding of Heavy Metal-Resistant Plants: A Review. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 56, 131-136.
- Basri, A. H. H. (2016). Kajian Pemanfaatan Kultur Jaringan dalam Perbanyakan Tanaman Bebas Virus. *Agrica Ekstensi*, 10(1), 64-73.
- Bernabé-Antonio, A., Álvarez, L., Buendía-González, L., Maldonado-Magaña, A., & Cruz-Sosa, F. (2015). Accumulation and tolerance of Cr and Pb using a cell suspension culture system of *Jatropha curcas*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 120(1), 221–228. <https://doi.org/10.1007/s11240-014-0597-y>

- Bernabé-Antonio, A., Maldonado-Magaña, A., Estrada-Zúñiga, M. E., Buendía-González, L., & Cruz-Sosa, F. (2018). Procedure for Estimating the Tolerance and Accumulation of Heavy Metals Using Plant Cell Cultures. In *Plant Cell Culture Protocols* (Ed.), *Methods in Molecular Biology* (Vol. 1815, pp. 333–337). Humana Press. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-8594-4_23
- Borolla, S. M., Mariwy, A., & Manuhuttu, D. J. (2019.). *FITOREMEDIASI TANAH TERCEMAR LOGAM BERAT MERKURI (Hg) MENGGUNAKAN TUMBUHAN KERSEN (Muntingia Calabua L) DENGAN SISTEM REAKTOR*.
- Cai, X., Yu, X., Lei, L., Xuan, B., Wang, J., Zhang, L., & Zhao, S. (2020). Comparison of lead tolerance and accumulation characteristics of fourteen herbaceous plants. *Nature Environment and Pollution Technology*, 19(4), 1547–1555. <https://doi.org/10.46488/NEPT.2020.v19i04.021>
- Choi Y.Y. (2011). International/National Standards for Heavy Metals in Food. 1-13.
- David, W., Ardiansyah Organic agriculture in Indonesia: challenges and opportunities. *Org. Agr.* 7, 329–338 (2017). <https://doi.org/10.1007/s13165-016-0160-8>
- Derba-Maceluch, M., & Mellerowicz, E. J. (2020). Expression of Cell Wall–Modifying Enzymes in Aspen for Improved Lignocellulose Processing. In Zoë A. Popper (Ed.), *The Plant Cell Wall Methods and Protocols Second Edition* (2nd ed., pp. 1–32). Humana. Press. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-1-0716-0621-6_9
- Elawati Novri Y. Kandowanko, Djuna Lamondo (2018). *RADIAL-juRnal perADaban saIns, rekayAsa dan teknoLogi Sekolah Tinggi Teknik (STITEK) Bina Taruna Gorontalo EFISIENSI PENYERAPAN LOGAM BERAT TEMBAGA (Cu) OLEH TUMBUHAN KANGKUNG AIR (Ipomoae aquatica Forks) DENGAN WAKTU KONTAK YANG BERBEDA*.
- Elawati, Novri, Y. K., & Djuna,L. (2015). Efisiensi Penyerapan Logam Berat Tembaga (Cu) oleh Tumbuhan Kangkung Air (*Ipomoae aquatica* Forks.) dengan Waktu Kontak yang Berbeda. *Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa Dan Teknologi*, 6(2), 162–166. <https://doi.org/https://doi.org/10.37971/radial.v6i2.175>.

- Fauziah, F., Wulansari, R., & Rezamela, E. (2018). Pengaruh pemberian pupuk mikro Zn dan Cu serta pupuk tanah terhadap perkembangan *Empoasca sp.* pada areal tanaman teh. *Jurnal Agrikultura*, 29(1), 26-34.
- Fitriandi, E., Zakiah, Z., Ifadatin, S., Hadari Nawawi, J. H., & Barat, K. (2023). The Botanic Gardens Bulletin. Induction and growth of callus from agarwood hypocotyl (*Aquilaria malaccensis* Lam.) with additional 2,4-dichlorophenoxyacetic acid and kinetin Informasi Artikel. *Buletin Kebun Raya*, 26, 106–113. <https://doi.org/10.55981/bkr.2023.1380>
- Galal, A., ElSohly, M. A., Radwan, M. M., Gul, W., & Chandra, S. (2017). Phytochemistry of *Cannabis sativa* L. *Phytocannabinoids: unraveling the complex chemistry and pharmacology of Cannabis sativa*, 1-36.
- Gonzales de Souza, G., Mendes Pinheiro, A. L., Silva, J. A., Veroneze-Júnior, V., Carvalho, M., Bertoli, A. C., Barbosa, S., & Corrêa de Souza, T. (2018). Morpho-physiological Tolerance Mechanisms of *Talinum patens* to Lead. *Water, Air, and Soil Pollution*, 229(1). <https://doi.org/10.1007/s11270-017-3658-0>
- Handayani, C. O., Sukarjo, S., Zu'amah, H., & Dewi, T. (2023). Penilaian Status dan Risiko Ekologi Cemar Logam Berat di Lahan Pertanian Kota Malang, Provinsi Jawa Timur. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(1), 60–68. <https://doi.org/10.14710/jil.22.1.60-68>
- Hidayati N. (2013). *MEKANISME FISILOGIS TUMBUHAN HIPERAKUMULATOR LOGAM BERAT Heavy Metal Hyperaccumulator Plant Physiology Mechanism*.
- Isabel Cadena-Aizaga, M., Montesdeoca-Esponda, S., Sosa-Ferrera, Z., & Juan Santana-Rodríguez, J. (2022). Occurrence and bioconcentration of organic UV filters in primary marine consumers. *Microchemical Journal*, 181. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2022.107807>
- Ismail, I., Mangesa, R., & Irsan, I. (2020). Bioakumulasi Logam Berat Merkuri (Hg) Pada Mangrove Jenis *Rhizophora mucronata* Di Teluk Kayeli Kabupaten Buru. *BIOSEL (Biology Science and Education): Jurnal Penelitian Science dan Pendidikan*, 9(2), 139-153
- Kappes, B., Streibel, V., & Fiebelkorn, A. (2017). Copper in biological redox processes. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics*, 1858(11), 2660-2674. doi:10.1016/j.bbabi.2017.06.013.

- Khan, M. S., & Khan, M. M. (2018). "Mechanisms of Heavy Metal Uptake and Accumulation in *Talinum paniculatum* and Its Phytoremediation Potential." *Environmental Science and Pollution Research*, 25(18), 18156-18167. doi:10.1007/s11356-018-1563-2.
- Kumar, A., & Prasad, M. N. V. (2015). Lead-induced toxicity and interference in chlorophyll fluorescence in *Talinum triangulare* grown hydroponically. *Photosynthetica*, 53(1), 66–71. <https://doi.org/10.1007/s11099-015-0091-8>
- Kusumaning Dewi, P., Dwi Hastuti, E., & Budihastuti, R. (2018). Kemampuan Akumulasi Logam Berat Tembaga (Cu) pada Akar Mangrove Jenis *Avicennia marina* (Forsk.) Dan *Rhizophora mucronata* (Lamk.) di Lahan Tambak. *Jurnal Akademika Biologi*, 7(4).
- Kristina, N. N., & Bermawie, N. (2017). Pengaruh Subkultur dan Lama Periode Kultur pada Daya Multiplikasi Tunas Lada (*Piper Nigrum* L.) Asal Biji Varietas Petaling I
- Li, H. Y., Wei, D. Q., Shen, M., & Zhou, Z. P. (2012). Endophytes and their role in phytoremediation. In *Fungal Diversity* (Vol. 54, pp. 11–18). <https://doi.org/10.1007/s13225-012-0165-x>
- Lukatkin, A., Egorova, I., Michailova, I., Malec, P., & Strzałka, K. (2014). Effect of copper on pro-and antioxidative reactions in radish (*Raphanus sativus* L.) *in vitro* and *in vivo*. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 28(1), 80-86.
- Ma, Y., Prasad, M. N. V., Rajkumar, M., & Freitas, H. (2011). Plant growth promoting rhizobacteria and endophytes accelerate phytoremediation of metalliferous soils. In *Biotechnology Advances* (Vol. 29, Issue 2, pp. 248–258). <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2010.12.001>
- Mahadi I, Syafi'i Y, Sari. 2016. Induksi Kalus Jeruk Kasturi (*Citrus microcarpa*) Menggunakan Hormon 2,4-D dan BAP dengan Metode *In Vitro*. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*. 21(2): 84–89. <https://doi.org/10.18343/jipi.21.2.84>
- Manousaki, E., & Kalogerakis, N. (2011). Halophytes—An Emerging Trend in Phytoremediation. *International Journal of Phytoremediation*, 13(10), 959–969.
- Marschner, H. (2012). *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press.

- Mng'ong'o, M., Munishi, L. K., Ndakidemi, P. A., Blake, W., Comber, S., & Hutchinson, T. H. (2021). Accumulation and bioconcentration of heavy metals in two phases from agricultural soil to plants in Usangu agroecosystem-Tanzania. *Heliyon*, 7(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07514>
- Monita, R., Purnomo, T., Budiono, D., Biologi, J., Matematika, F., Ilmu, D., & Alam, P. (n.d.). *Kandungan Klorofil Tanaman Kangkung Air (Ipomoea aquatica) Akibat Pemberian Logam Kadmium (Cd) pada Berbagai Konsentrasi Chlorophyll Content of Water Spinach (Ipomoea aquatica) Plants Exposed to Cadmium in Various Concentrations*. <http://ejournal.unesa.ac.id/index.php/lenterabio>
- Nguyen, H. T., & Lee, J. H. (2017). Role of polyphenol oxidase in browning of plant tissue culture: A review. *Journal of Plant Physiology*, 211, 56-64. doi:10.1016/j.jplph.2017.06.011.
- Nurchayati, Y., Santosa, S., Nugroho, L. H., & Indrianto, A. (2016). Growth Pattern and Copper Accumulation in Callus of Datura metel. *Biosaintifika: Journal of Biology & Biology Education*, 8(2), 135. <https://doi.org/10.15294/biosaintifika.v8i2.5177>
- Ornella, C. D. (2011). *Fitoremediasi tanah tercemar timbal (Pb) menggunakan bunga Kana (Canna indica) di kelurahan Tambak Wedi, Kecamatan Kenjeran, Surabaya*.
- Rasud, Y., & Bustaman, B (2020). In Vitro Callus Induction from Clove (*Syzygium aromatic* L.) Leaves on Medium Containing Various Auxin Concentrations. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 25 (1), 76-72. <https://doi.org/10.18343/jipi.25.1.67>
- Rizkiaditama, D., Elly, P., & Muizzudin. (2017). Analisis Kadar Klorofil pada Pohon Angsana (*Pterocarpus indicus* Willd.) di Kawasan Ngoro Industri Persada (NIP) Ngoro Mojokerto Sebagai Sumber Belajar Biologi. *Prosiding Seminar Nasional III*, 287–293. <http://research-report.umm.ac.id/index.php/research-report/article/view/1000>
- dos Reis, P. E., de Souza, K. R. D., Romão, G. F., de Fátima Esteves, G., Ishii, K. Y., Magalhães, P. C., ... & de Souza, T. C. (2022). Potential of *Talinum paniculatum* Cuttings in Lead and Manganese Rhizofiltration. *Water, Air, & Soil Pollution*, 233(7), 243.

- Rokhmah Fatkhiyatur. (2008). Pengaruh Toksisitas Cu Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Padi (*Oryza sativa*) Serta Upaya Perbaikannya dengan Pupuk Penawar Racun. Skripsi. Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor.
- Sang, Z., Zhang, X., Li, Y., & Zhang, Y. (2016). "Phytoremediation Potential of *Talinum paniculatum* for Heavy Metal Contamination: A Review." *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 51(7), 560-570. <https://doi:10.1080/03601234.2016.1184410>.
- Sarker Md, J. (2016). A Study on the Determination of Heavy Metals in Sediment of Fish Farms in Bangladesh. *Fisheries and Aquaculture Journal*, 07(01). <https://doi.org/10.4172/2150-3508.1000159>
- Shaharuddin, N. A., Othman, R., & Choi, Y. H. (2020). Effects of explant age and medium composition on in vitro callus induction and growth in *Curcuma longa* L. *Scientia Horticulturae*, 263, 109072. doi:10.1016/j.scienta.2019.109072.
- Sharma, S., et al. (2017). "Chemical-induced mutagenesis in plant cell cultures." *Biotechnology Advances*, 35(4), 453-464.
- Sholikhah, L., L., (2014). Pengaruh Fe²⁺ pada Media MS dengan Penambahan 2,4 D yang Dikombinasikan dengan Air Kelapa Terhadap Perkembangan dan Kandungan Metabolit Sekunder Asiatikosida dan Madekasosida Kalus Pegagan (*Centella asiatica* L. Urban). In Skripsi (Vol. 1). <https://core.ac.ul/download/pdf/11715904.pdf>
- Smetana, S., et al. (2015). "Impact of environmental stress on plant cell cultures." *Plant Cell Reports*, 34(1), 25-35
- Song, Y., Kang, L., Lin, F., Sun, N., Aizezi, A., Yang, Z., & Wu, X. (2022). Estimating the spatial distribution of soil heavy metals in oil mining area using air quality data. *Atmospheric Environment*, 287, 119274. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.119274>
- Sulistiono, Alfinda Novi K., Agus M. S. (2017). *Talinum paniculatum* (Jacq) Gaertn (Java Ginseng) Production using Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal. *International Journal of Applied Biology*. ISSN : 2580-2410

- Srinivas, M., & Rao, P. S. (2015). Effect of phenolic compounds on callus browning in various plant species. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 120(1), 1-10. doi:10.1007/s11240-014-0578-6.
- URT. (2017). The Environmental Management (Soil Quality Standards) Regulation. (United Republic of Tanzania).
- Vitasari Purba Hestin Yuswanti, R., & Nyoman Gede Astawa, I. (2017). *E-Jurnal Agroekoteknologi Tropika Induksi Kalus Eksplan daun Tanaman Anggur (Vitis vinifera L.) dengan Aplikasi 2,4-D Secara in Vitro*. 6(2), 218. <http://ojs.unud.ac.id/index.php/JAT>
- Wang, L., Ji, B., Hu, Y., Liu, R., & Sun, W. (2017). A review on in situ phytoremediation of mine tailings. *Chemosphere*, 184, 594-600.
- Wenga, T., & Gwenzi, W. (2022). Anthropogenic rare earth elements in aquatic environments: Occurrence, behaviour, and fate. In *Emerging Contaminants in the Terrestrial-Aquatic-Atmosphere Continuum*: (pp. 87-102). Elsevier.
- Winarmadani, S. (2019). *ANALISIS KANDUNGAN LOGAM BERAT (Pb, Cd, Cu dan Fe) PADA TANAH DI RAWA PENING KABUPATEN SEMARANG JAWA TENGAH*.
- Wisnuwati (2019). *Unit Pembelajaran PERAN ENZIM DALAM PROSES METABOLISME HEWAN*.
- Zhang, B., Jia, T., Peng, S., Yu, X., & She, D. (2022). Spatial distribution, source identification, and risk assessment of heavy metals in the cultivated soil of the Qinghai–Tibet Plateau region: Case study on Huzhu County. *Global Ecology and Conservation*, 35, e02073. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2022.e02073>
- Yu, J., & Wang, Q. (2014). High-temperature stability and mechanical properties of copper alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, 592, 152-159. doi:10.1016/j.jallcom.2014.01.065.