

Pengaruh Konsentrasi Ekoenzim terhadap Pertumbuhan dan Kadar Cr^{6+} pada *Tagetes erecta* L. di Bawah Cekaman Kromium Heksavalen

*Effect of Ecoenzyme Concentration on Growth and Cr^{6+} Content in *Tagetes erecta* L. under Hexavalent Chromium Stress*

Aurel Noufal Indradi, Sri Kasmiyati*, Vincentia Irene Meitinarti

Fakultas Biologi, Universitas Kristen Satya Wacana, Jalan Diponegoro 52-60, Salatiga, Kec. Sidorejo, Kota Salatiga

^{*)} Corresponding author(s) email: kas@uksw.edu

ABSTRAK

Kontaminasi tanah oleh kromium heksavalen (Cr^{6+}) merupakan salah satu permasalahan lingkungan yang dapat menghambat pertumbuhan tanaman. Fitoremediasi menggunakan *Tagetes erecta* L. berpotensi untuk mengurangi dampak kontaminasi Cr^{6+} , sedangkan ekoenzim dapat digunakan sebagai perlakuan tambahan untuk mendukung pertumbuhan tanaman. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh konsentrasi ekoenzim terhadap pertumbuhan dan kadar Cr^{6+} pada *T. erecta* di bawah cekaman Cr^{6+} . Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan lima konsentrasi ekoenzim, yaitu 0%, 0,5%, 1,0%, 1,5%, dan 2,0%, dengan lima ulangan pada setiap perlakuan. Parameter yang diamati meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, jumlah bunga, panjang akar, kadar klorofil, serta kadar Cr^{6+} pada akar dan daun. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan ekoenzim 1,0% menghasilkan respons pertumbuhan tertinggi pada tinggi tanaman, jumlah daun, dan panjang akar. Perlakuan ekoenzim 2,0% menghasilkan kadar Cr^{6+} tertinggi pada akar, sedangkan kadar Cr^{6+} pada daun cenderung lebih rendah dibandingkan beberapa perlakuan lainnya. Pemberian ekoenzim juga menghasilkan respons yang berbeda pada parameter klorofil sehingga pengaruhnya perlu diinterpretasikan berdasarkan hasil analisis statistik pada masing-masing parameter. Secara keseluruhan, konsentrasi ekoenzim 1,0% lebih mendukung pertumbuhan *T. erecta*, sedangkan konsentrasi 2,0% cenderung meningkatkan retensi Cr^{6+} pada akar meskipun pertumbuhan tanaman menurun.

Kata kunci: ekoenzim, *Tagetes erecta*, Cr^{6+} , kromium heksavalen, fitoremediasi

ABSTRACT

Soil contamination by hexavalent chromium (Cr^{6+}) is an environmental problem that can adversely affect plant growth. Phytoremediation using *Tagetes erecta* L. has potential for mitigating the effects of Cr^{6+} contamination, while ecoenzyme may be used as a supplementary treatment to support plant growth. This study aimed to analyze the effect of ecoenzyme concentration on the growth and Cr^{6+} content of *T. erecta* under Cr^{6+} stress. The study employed a Completely Randomized Design (CRD) with five ecoenzyme concentrations, namely 0%, 0.5%, 1.0%, 1.5%, and 2.0%, with five replicates for each treatment. The parameters observed included plant height, number of leaves, number of flowers, root length, chlorophyll content, and Cr^{6+} content in the roots and leaves. The results showed that the 1.0% ecoenzyme treatment produced the highest growth responses in terms of plant height, number of leaves, and root length. The 2.0% ecoenzyme treatment resulted in the highest Cr^{6+} content in the roots, while Cr^{6+} content in the leaves tended to be lower than in several other treatments. Ecoenzyme application also resulted in different responses in chlorophyll parameters; therefore, its effect should be interpreted based on the statistical analysis of each parameter. Overall, a 1.0% ecoenzyme concentration better supported the growth of *T. erecta*, whereas the 2.0% concentration tended to increase Cr^{6+} retention in the roots, although plant growth was reduced.

Keywords: ecoenzyme, *Tagetes erecta*, Cr^{6+} , hexavalent chromium, phytoremediation

PENDAHULUAN

Pencemaran logam berat merupakan salah satu permasalahan lingkungan yang banyak ditemukan pada kegiatan industri. Limbah industri yang mengandung logam berat dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan karena sifatnya yang toksik serta berpotensi mengganggu kesehatan manusia dan ekosistem (Dotaniya et al., 2014). Salah satu logam berat yang banyak dihasilkan dari kegiatan industri adalah kromium (Cr), yang dimanfaatkan dalam berbagai bidang, antara lain pembuatan baja tahan karat (Tastanov et al., 2023), electroplating (Kosim et al., 2022), penyamakan kulit (Pandey et al., 2024), dan industri tekstil (Khatua & Kumar Dey, 2023). Kromium memiliki beberapa tingkat oksidasi, tetapi Cr^{6+} merupakan salah satu bentuk yang paling berbahaya karena bersifat toksik, mutagenik, dan karsinogenik serta memiliki kelarutan dan reaktivitas yang tinggi (Sharma et al., 2022).

Pelepasan limbah yang mengandung Cr^{6+} secara terus-menerus dapat menyebabkan pencemaran tanah dan badan air (Putra et al., 2024). Keberadaan Cr^{6+} dalam lingkungan dapat memberikan tekanan terhadap organisme hidup. Pada tanaman, Cr^{6+} dapat mengganggu permeabilitas membran sel dan menyebabkan tekanan oksidatif yang berdampak terhadap proses fisiologis tanaman (Suchaio & Kasmiyati, 2018). Selain itu, keberadaan Cr^{6+} di dalam tanah dapat memengaruhi komunitas mikroba tanah serta mengganggu pertumbuhan tanaman melalui gangguan terhadap proses fotosintesis dan penyerapan unsur hara (Madumo, 2016). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang dapat mengurangi dampak pencemaran Cr^{6+} sekaligus mempertahankan pertumbuhan tanaman selama proses remediasi.

Fitoremediasi merupakan salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk mengurangi pencemaran logam berat dengan memanfaatkan kemampuan tanaman dalam menyerap dan mengakumulasi logam dari lingkungan. Salah satu tanaman yang berpotensi digunakan dalam fitoremediasi adalah *Tagetes erecta* L. Bose et al. (2023) melaporkan bahwa *T. erecta* memiliki kemampuan dalam menyerap dan menahan logam berat. Kemampuan tersebut menunjukkan potensi *T. erecta* untuk dimanfaatkan dalam proses fitoremediasi. Namun, keberadaan Cr^{6+} pada konsentrasi tertentu dapat menyebabkan cekaman yang menghambat pertumbuhan tanaman. Xiao et al. (2024) menunjukkan bahwa pemberian Cr^{6+} dengan dosis 50 mg/kg pada *T. erecta* dapat

menghambat pertumbuhan tanaman, yang salah satunya ditunjukkan oleh terhambatnya perkembangan akar. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kemampuan *T. erecta* dalam mengakumulasi Cr^{6+} perlu diimbangi dengan upaya untuk mempertahankan pertumbuhan tanaman selama proses fitoremediasi.

Salah satu bahan organik yang berpotensi digunakan untuk mendukung pertumbuhan tanaman dan membantu pengelolaan lingkungan tercemar logam berat adalah ekoenzim. Ekoenzim merupakan hasil fermentasi bahan organik, seperti limbah buah dan sayuran, yang mengandung berbagai senyawa hasil fermentasi serta enzim, antara lain protease, lipase, dan amilase. Larasati et al. (2020) melaporkan bahwa ekoenzim dapat membantu memenuhi kebutuhan unsur hara tanaman. Selain itu, mikroorganisme berperan dalam proses dekomposisi, penyediaan unsur hara, dan pengelolaan polutan di dalam tanah (Zhu et al., 2020). Penelitian Zainudin & Kesumaningwati (2022) juga menunjukkan bahwa ekoenzim berpotensi digunakan untuk mengurangi kandungan logam berat di dalam tanah. Temuan tersebut menunjukkan bahwa ekoenzim berpotensi mendukung pertumbuhan tanaman sekaligus berperan dalam pengelolaan lingkungan yang tercemar logam berat.

Meskipun penelitian mengenai kemampuan *T. erecta* dalam fitoremediasi logam berat dan pemanfaatan ekoenzim sebagai bahan organik telah dilakukan, kajian mengenai penggunaan ekoenzim pada *T. erecta* yang mengalami cekaman Cr^{6+} masih terbatas. Penelitian Xiao et al. (2024) menunjukkan adanya hambatan pertumbuhan *T. erecta* akibat cekaman Cr^{6+} , tetapi belum mengkaji penggunaan ekoenzim sebagai perlakuan untuk mendukung pertumbuhan tanaman dalam kondisi tersebut. Di sisi lain, penelitian mengenai ekoenzim telah menunjukkan potensinya dalam mendukung pertumbuhan tanaman dan pengelolaan logam berat, tetapi belum menjelaskan pengaruh pemberian ekoenzim terhadap pertumbuhan dan akumulasi Cr^{6+} pada *T. erecta*. Dengan demikian, belum diketahui secara jelas apakah pemberian ekoenzim pada konsentrasi yang berbeda dapat mendukung pertumbuhan *T. erecta* sekaligus memengaruhi akumulasi Cr^{6+} pada akar dan daun. Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh pemberian ekoenzim terhadap pertumbuhan dan akumulasi Cr^{6+} pada *T. erecta* dalam kondisi cekaman Cr^{6+} .

METODE PENELITIAN

Desain Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental menggunakan desain Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan satu faktor, yaitu konsentrasi ekoenzim. Konsentrasi yang digunakan adalah 0%, 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0% dengan masing-masing perlakuan menggunakan 5 ulangan. Penelitian dilakukan selama 8 minggu.

Persiapan Media Tanam

Media tanam yang digunakan diperoleh dari toko penyedia media tanam di Salatiga. Media tanam berupa campuran tanah: vermikompos dengan perbandingan 1:1 (b/b). Media tanam yang akan digunakan dimasukkan ke dalam polibag berukuran 20 x 20 cm dengan berat 1 kg untuk tiap polibag, dan disiapkan sebanyak 5 ulangan untuk tiap perlakuan.

Persiapan Bibit *T. erecta*

Bibit *T. erecta* diperoleh dari lokasi pembibitan tanaman hias di kawasan Kopeng, Kabupaten Semarang. Bibit yang digunakan berumur satu bulan dengan pertumbuhan yang relatif seragam berdasarkan tinggi tanaman dan jumlah daun. Tanaman diaklimatisasi selama tiga hari sebelum diberikan perlakuan Cr^{6+} . Selama proses aklimatisasi, tanaman dipelihara dengan penyiraman menggunakan air. Setelah proses aklimatisasi selesai, tanaman dipindahkan dari media asal ke media tanam baru yang telah disiapkan di dalam polibag.

Persiapan Larutan Logam Berat Kromium Heksavalen (Cr^{6+})

Logam Cr^{6+} yang digunakan sebagai perlakuan pada penelitian ini dalam bentuk senyawa $K_2Cr_2O_7$. Pembuatan larutan Cr^{6+} dilakukan dengan menghitung konsentrasi larutan baku Cr^{6+} disesuaikan dengan konsentrasi perlakuannya. Larutan untuk perlakuan dibuat dengan cara mengencerkan larutan stok konsentrasi $K_2Cr_2O_7$ 50 mg/L atau 50 ppm dengan larutan akuades. Setelah selesai membuat larutan Cr^{6+} , diberikan ke media tanam baru pada awal penelitian sebanyak 30 ml tiap polibag.

Persiapan Larutan Ekoenzim

Larutan ekoenzim dibuat menggunakan bahan dasar kulit buah jeruk dan pisang dengan perbandingan gula, kulit buah, dan air (1:3:10) yang di fermentasi selama 6 bulan. Setelah 6 bulan hasil fermentasi disaring untuk memisahkan sisa kulit buah. Untuk membuat seri pengenceran

ekoenzim dengan konsentrasi 0%, 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0% dilakukan dengan mengambil larutan stok ekoenzim sesuai dengan konsentrasi yang diperlukan dalam 100 ml akuades.

Pemeliharaan Tanaman *T. erecta*

Pemeliharaan tanaman dilakukan dengan melakukan penyiraman setiap hari dengan air ledeng. Volume air untuk penyiraman dibuat seragam 75 – 150 ml/hari disesuaikan dengan usia dan pertumbuhan tanaman. Pemberian perlakuan ekoenzim dilakukan setiap seminggu sekali selama enam minggu dengan volume 70 ml/minggu sesuai dengan perlakuan.

Pengamatan Parameter Pertumbuhan

Parameter pertumbuhan *T. erecta* yang diukur secara langsung meliputi jumlah daun, tinggi tanaman, jumlah bunga, serta panjang akar. Parameter pertumbuhan secara tidak langsung diukur melalui pengukuran kadar klorofil (a, b, dan total). Parameter terkait fitoremediasi kromium yang diamati adalah kandungan kromium heksavalen pada daun dan akar *T. erecta*. Semua parameter ini diamati di akhir penelitian.

Uji Kadar Klorofil dan Akumulasi Cr^{6+}

Penentuan kadar klorofil dilakukan menurut Nurzaman et al. (2016). Daun tanaman masing-masing perlakuan ditimbang sebanyak 0,1 gram dan diiris kecil-kecil. Daun yang telah diiris kemudian dihaluskan hingga semua klorofil terlarutkan (jaringan daun sampai pucat). Ekstrak klorofil disaring dengan kertas saring, dan filtrat yang diperoleh dimasukkan dalam tabung reaksi. Absorbansi klorofil diukur pada panjang gelombang 649 dan 665 nm. Penentuan kadar klorofil dihitung dengan rumus:

$$\text{Klorofil a} = (13,7 \times OD_{665}) - (5,76 \times OD_{649})$$
 dan

$$\text{Klorofil b} = (25,8 \times OD_{649}) - (7,7 \times OD_{665}).$$

Penentuan kadar Cr^{6+} di akar dan pucuk tanaman dilakukan secara spektrofotometrik menggunakan reagen difenilkarbasid (Meitiniarti et al., 2022). Akar dan pucuk dicuci terlebih dahulu, dan dikeringkan dengan cara di oven dengan suhu 80°C selama 2 hari. Setelah itu sampel diabukan menggunakan furnace dengan suhu 500°C selama 5 jam. Sebanyak 0,2 gram sampel ditambah HNO_3 sebanyak 3 ml, HCl sebanyak 1 ml dan H_2O_2 sebanyak 0,5 ml. Campuran kemudian dipanaskan menggunakan hot plate sampai warna berubah menjadi bening. Setelah itu larutan sampel didinginkan, disaring. Sebanyak 2,5 ml filtrat dimasukkan kedalam tabung reaksi dan tambahkan 3 tetes H_2SO_4

pekat dan 0,1 ml diphenilkarbazide 0,5%. Sampel kemudian di vortex dan inkubasi selama 15 menit. Selanjutnya larutan diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometri UV-Vis pada panjang gelombang 540 nm. Absorbansi yang diperoleh dikonversi ke konsentrasi Cr6+ menggunakan kurva standart Cr6+.

Analisis Data

Data dianalisis menggunakan one-way ANOVA untuk mengetahui pengaruh konsentrasi ekoenzim terhadap parameter pertumbuhan, kadar klorofil, dan kandungan Cr6+. Sebelum dilakukan ANOVA, data diuji normalitas dan homogenitas sebagai prasyarat analisis. Apabila terdapat perbedaan yang signifikan, analisis dilanjutkan dengan uji Tukey untuk mengetahui perbedaan antarperlakuan. Analisis statistik dilakukan menggunakan program SAS versi 9.1 dengan tingkat signifikansi $\alpha = 0,05$. Jenis uji normalitas dan homogenitas yang digunakan perlu dicantumkan secara spesifik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Pemberian Ekoenzim terhadap Pertumbuhan *T. erecta*

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian ekoenzim pada berbagai konsentrasi memberikan respons yang berbeda terhadap pertumbuhan *Tagetes erecta* L. Berdasarkan Tabel 1, konsentrasi ekoenzim 1,0% menghasilkan tinggi tanaman, jumlah daun, dan panjang akar tertinggi dibandingkan sebagian besar perlakuan lainnya. Tinggi tanaman pada perlakuan 1,0% mencapai $25,2 \pm 1,15$ cm, jumlah daun sebesar $59,8 \pm 2,95$, dan panjang akar sebesar $26,16 \pm 1,21$ cm. Namun, jumlah bunga tertinggi diperoleh pada perlakuan kontrol, yaitu $8,0 \pm 1,58$ bunga. Dengan demikian, respons pertumbuhan tanaman terhadap pemberian ekoenzim tidak menunjukkan pola yang sama pada seluruh parameter yang diamati.

Berdasarkan Tabel 1, perlakuan 1,0% menghasilkan pertumbuhan vegetatif yang paling tinggi, tetapi tidak dapat dinyatakan sebagai perlakuan terbaik untuk seluruh parameter pertumbuhan karena jumlah bunga tertinggi diperoleh pada kontrol. Oleh karena itu, pemberian ekoenzim 1,0% lebih tepat dinyatakan memberikan respons terbaik pada beberapa parameter pertumbuhan vegetatif, bukan meningkatkan seluruh aspek pertumbuhan tanaman.

Konsentrasi ekoenzim 1,0% menunjukkan respons pertumbuhan yang relatif paling baik pada parameter vegetatif, terutama tinggi tanaman, jumlah daun, dan panjang akar. Hasil ini

sejalan dengan penelitian Sembiring et al. (2021), Lubis et al. (2022), dan Salsabila & Winarsih (2023) yang melaporkan bahwa pemberian ekoenzim pada konsentrasi tertentu dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman. Menurut Kriswantoro et al. (2022), ekoenzim mengandung senyawa yang berpotensi mendukung ketersediaan nutrisi dan kondisi media tanam sehingga dapat menunjang pertumbuhan tanaman. Selain itu, keberadaan bakteri penghasil asam indolasetat yang dilaporkan terdapat pada ekoenzim (Meitiniarti et al., 2025) diduga dapat berkontribusi terhadap respons pertumbuhan tanaman.

Respons pertumbuhan yang lebih rendah pada konsentrasi ekoenzim 2,0% menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi ekoenzim tidak selalu diikuti dengan peningkatan pertumbuhan. Pada perlakuan 2,0%, tinggi tanaman hanya mencapai $18,7 \pm 1,56$ cm, jumlah daun $34,2 \pm 2,05$, dan panjang akar $20,1 \pm 1,42$ cm. Penurunan pertumbuhan pada konsentrasi ekoenzim yang lebih tinggi diduga berkaitan dengan perubahan kondisi media tanam atau ketidakseimbangan ketersediaan unsur hara. Pemberian bahan organik dalam jumlah berlebihan berpotensi memengaruhi keseimbangan nutrisi dan kondisi kimia media sehingga dapat menghambat pertumbuhan tanaman (Ginting et al., 2021; Narang, 2022). Ekoenzim juga mengandung berbagai senyawa organik hasil fermentasi yang berpotensi memengaruhi pH media. Namun, karena pH dan kandungan unsur hara media tidak diukur dalam penelitian ini, pengaruh perubahan pH maupun ketidakseimbangan nutrisi tersebut perlu dipandang sebagai dugaan dan belum dapat dinyatakan sebagai mekanisme yang telah terbukti.

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa keberadaan Cr6+ pada kondisi penelitian ini belum menyebabkan penghambatan pertumbuhan yang kuat. Konsentrasi Cr6+ dalam tanah diperkirakan sebesar 0,15 mg/kg, yang jauh lebih rendah dibandingkan konsentrasi 50 mg/kg yang dilaporkan dapat menghambat pertumbuhan *T. erecta* (Xiao et al., 2024). Perbedaan tingkat paparan Cr6+ tersebut dapat menjadi salah satu alasan mengapa tanaman pada penelitian ini masih mampu tumbuh selama periode pengamatan.

Pemberian ekoenzim menunjukkan respons yang berbeda terhadap kandungan klorofil daun *T. Erecta* (disajikan pada gambar 1, 2, dan 3). Kadar klorofil a pada perlakuan kontrol sebesar 10,9 mg/L dan berbeda nyata dengan perlakuan ekoenzim 2,0% yang menghasilkan kadar klorofil a sebesar 9,2 mg/L. Sementara itu,

perlakuan ekoenzim 0,5%, 1,0%, dan 1,5% masing-masing menghasilkan kadar klorofil a sebesar 10,2; 10,1; dan 10,2 mg/L dan tidak berbeda nyata dengan kontrol maupun perlakuan 2,0%.

Pada klorofil b, perlakuan ekoenzim 0,5% menghasilkan kadar tertinggi, yaitu 24,5 mg/L, sedangkan perlakuan 1,5% menghasilkan kadar terendah, yaitu 19,4 mg/L. Kedua perlakuan tersebut menunjukkan perbedaan nyata. Perlakuan kontrol dan 2,0% menghasilkan kadar klorofil b yang sama, yaitu 21,3 mg/L, sedangkan perlakuan 1,0% menghasilkan 22,7 mg/L. Pola tersebut menunjukkan bahwa respons klorofil b terhadap pemberian ekoenzim tidak meningkat secara linear seiring dengan peningkatan konsentrasi ekoenzim.

Pola yang sama terlihat pada klorofil total. Perlakuan ekoenzim 0,5% menghasilkan kadar klorofil total tertinggi, yaitu 34,8 mg/L, sedangkan kadar terendah terdapat pada perlakuan 1,5%

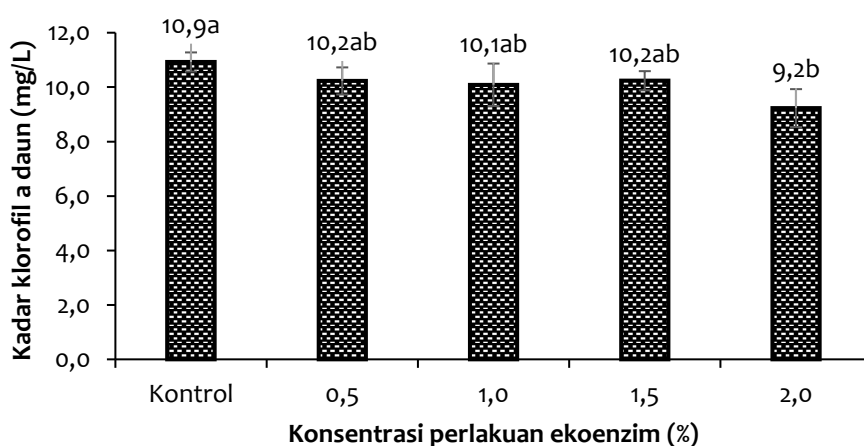
sebesar 29,7 mg/L. Perlakuan 0,5% berbeda nyata dengan perlakuan 1,5% dan 2,0%, sedangkan kontrol dan perlakuan 1,0% berada pada kelompok intermediet. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pemberian ekoenzim dapat memengaruhi kandungan klorofil *T. erecta*, terutama pada konsentrasi 0,5% dan 1,5–2,0%.

Perbedaan respons kandungan klorofil terhadap konsentrasi ekoenzim diduga berkaitan dengan kondisi fisiologis tanaman dan ketersediaan nutrisi. Ekoenzim berpotensi meningkatkan ketersediaan unsur hara yang mendukung pertumbuhan dan proses fisiologis tanaman (Larasati et al., 2020; Kriswanto et al., 2022). Namun, hubungan langsung antara pemberian ekoenzim dan peningkatan sintesis klorofil masih perlu dikaji lebih lanjut karena ketersediaan unsur hara dan mekanisme biosintesis klorofil tidak dianalisis dalam penelitian ini.

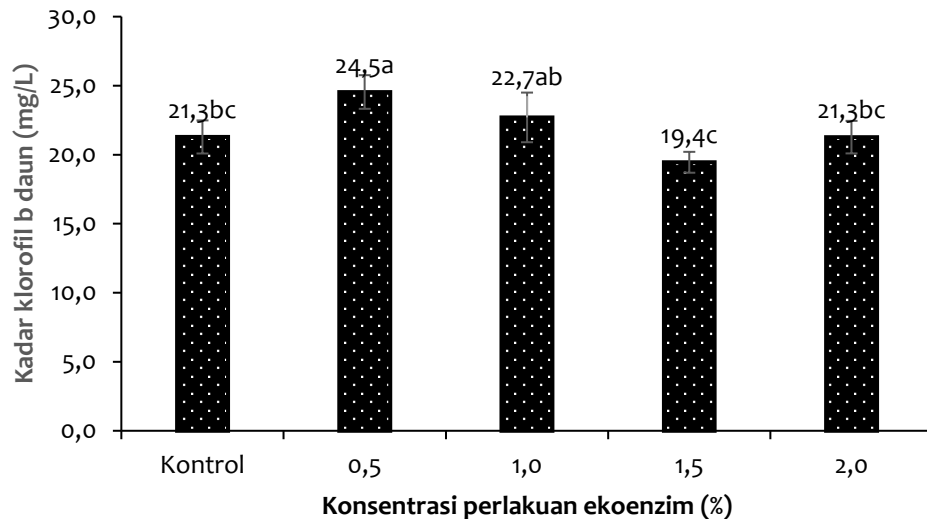
Tabel 1. Pengaruh Berbagai Konsentrasi Ekoenzim terhadap Pertumbuhan *T. erecta*.

Konsentrasi ekoenzim (%)	Tinggi Tanaman (cm)	Jumlah Daun	Jumlah Bunga	Panjang Akar (cm)
0 (Kontrol)	23,6 ± 1,22 ^{ab}	51,2 ± 2,05 ^b	8,0 ± 1,58 ^a	22,08 ± 2,33 ^b
0,5	22,1 ± 1,25 ^b	46,2 ± 1,79 ^c	4,2 ± 1,30 ^b	20,26 ± 1,02 ^b
1,0	25,2 ± 1,15 ^a	59,8 ± 2,95 ^a	4,6 ± 0,55 ^b	26,16 ± 1,21 ^a
1,5	23,3 ± 1,46 ^{ab}	43,0 ± 1,87 ^c	5,0 ± 1,41 ^b	22,92 ± 1,21 ^b
2,0	18,7 ± 1,56 ^c	34,2 ± 2,05 ^d	3,6 ± 1,14 ^b	20,1 ± 1,42 ^b

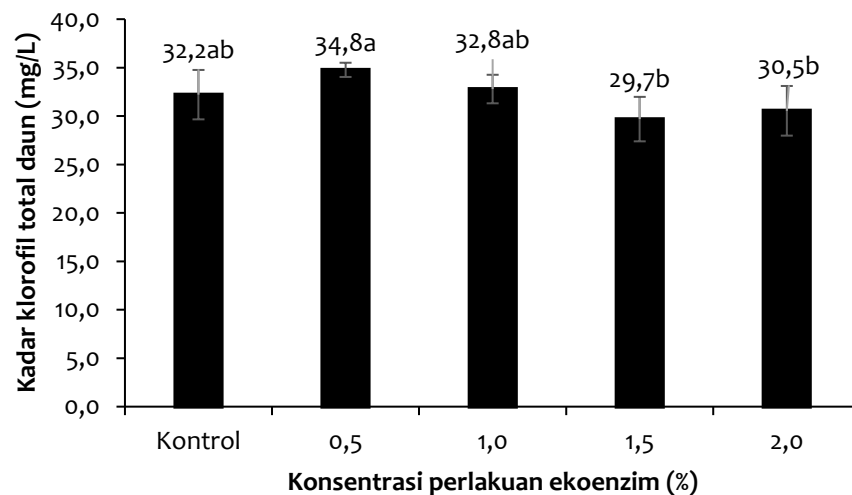
Keterangan: Angka dengan superskrip yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan nyata di antara perlakuan



Gambar 1. Kadar klorofil a daun *T. erecta* pada akhir penelitian dengan pemberian ekoenzim pada konsentrasi 0% (kontrol), 0,5%, 1,0%, 1,5%, dan 2,0%. Nilai disajikan sebagai rerata ± simpangan baku. Angka yang diikuti huruf superskrip yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Tukey ($\alpha = 0,05$).



Gambar 2. Kadar klorofil b daun *T. erecta* pada akhir penelitian dengan pemberian ekoenzim pada konsentrasi 0% (kontrol), 0,5%, 1,0%, 1,5%, dan 2,0%. Nilai disajikan sebagai rerata $\pm$ simpangan baku. Angka yang diikuti huruf superskrip yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Tukey ($\alpha = 0,05$).



Gambar 3. Kadar klorofil total daun *T. erecta* pada akhir penelitian dengan pemberian ekoenzim pada konsentrasi 0% (kontrol), 0,5%, 1,0%, 1,5%, dan 2,0%. Nilai disajikan sebagai rerata $\pm$ simpangan baku. Angka yang diikuti huruf superskrip yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Tukey ($\alpha = 0,05$).

Pengaruh Pemberian Ekoenzim terhadap Kadar Kromium Heksavalen (Cr^{6+}) pada *T. erecta*

Pemberian ekoenzim menghasilkan pola yang berbeda antara kandungan Cr^{6+} pada daun dan akar *T. Erecta* (Gambar 4). Berdasarkan hasil penelitian, perlakuan ekoenzim 0,5% menghasilkan kandungan Cr^{6+} daun tertinggi, sedangkan perlakuan 2,0% menghasilkan kandungan Cr^{6+} akar tertinggi. Pola tersebut menunjukkan bahwa respons akumulasi Cr^{6+} pada akar dan daun tidak meningkat secara linear seiring dengan peningkatan konsentrasi

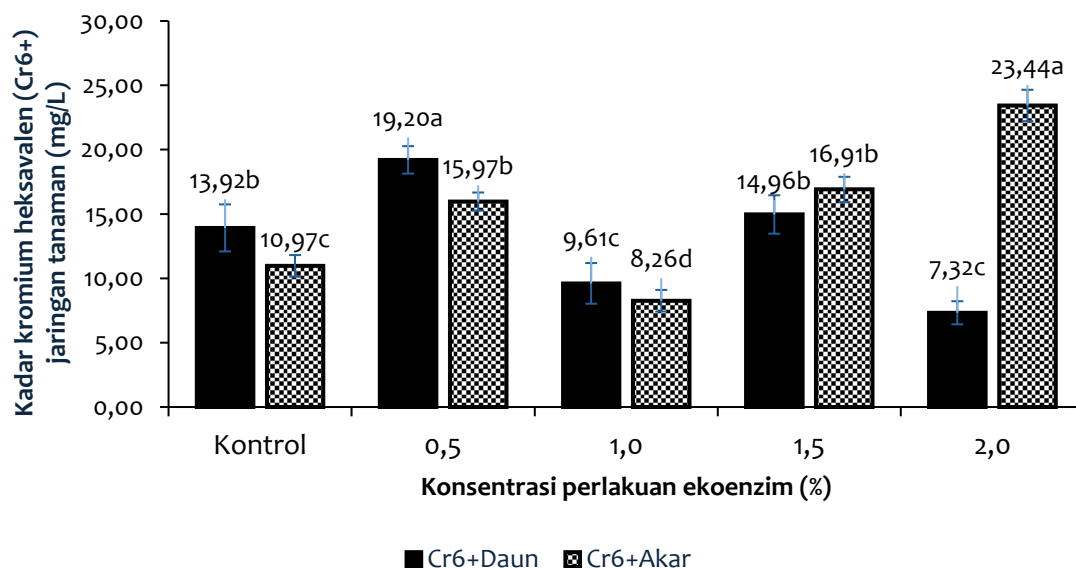
ekoenzim. Pada daun, kandungan Cr^{6+} tertinggi diperoleh pada perlakuan ekoenzim 0,5%, sedangkan pada konsentrasi 2,0% kandungan Cr^{6+} daun merupakan yang terendah. Sebaliknya, kandungan Cr^{6+} pada akar meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi ekoenzim dan mencapai nilai tertinggi pada perlakuan 2,0%. Perbedaan pola antara akar dan daun tersebut menunjukkan adanya kecenderungan bahwa pada konsentrasi ekoenzim yang lebih tinggi, Cr^{6+} lebih banyak berada pada jaringan akar dibandingkan bagian atas tanaman.

Pola tersebut sejalan dengan hasil penelitian Xiao et al. (2024) yang menunjukkan bahwa *T. erecta* dapat mempertahankan proporsi Cr yang lebih tinggi pada akar dibandingkan pucuk. Yadav et al. (2019) juga melaporkan bahwa *T. erecta* memiliki kemampuan menyerap kromium dan mempertahankannya pada jaringan akar. Retensi logam pada akar dapat menjadi salah satu respons tanaman terhadap keberadaan logam berat, sehingga jumlah logam yang mencapai jaringan daun dapat menjadi lebih rendah. Namun demikian, berdasarkan data yang diperoleh dalam penelitian ini, kecenderungan lebih tingginya kandungan Cr^{6+} pada akar belum dapat secara langsung membuktikan bahwa ekoenzim membatasi translokasi Cr^{6+} dari akar ke daun. Untuk membuktikan adanya pembatasan translokasi, diperlukan analisis tambahan, misalnya melalui perhitungan translocation factor (TF) berdasarkan perbandingan kandungan Cr^{6+} pada bagian atas tanaman dan akar. Oleh karena itu, hasil penelitian ini lebih tepat diinterpretasikan sebagai indikasi adanya retensi Cr^{6+} yang lebih tinggi pada akar pada konsentrasi ekoenzim 2,0%.

Perbedaan kandungan Cr^{6+} antara akar dan daun juga dapat berkaitan dengan mekanisme pertahanan tanaman terhadap cekaman logam

berat. Mataradja & Kasmiyati (2023) serta Das et al. (2024) menjelaskan bahwa tanaman dapat merespons keberadaan Cr melalui berbagai mekanisme pertahanan. Akan tetapi, mekanisme spesifik seperti pembentukan senyawa pengkelat, peningkatan aktivitas antioksidan, atau perubahan metabolisme tidak diukur dalam penelitian ini. Oleh sebab itu, mekanisme tersebut hanya dapat digunakan sebagai kemungkinan penjelasan terhadap pola yang diperoleh dan tidak dapat dinyatakan sebagai mekanisme yang telah dibuktikan pada penelitian ini.

Hal yang menarik adalah hasil pertumbuhan dan akumulasi Cr^{6+} menunjukkan adanya perbedaan respons antara konsentrasi ekoenzim 1,0% dan 2,0%. Konsentrasi 1,0% menghasilkan nilai tinggi tanaman, jumlah daun, dan panjang akar yang relatif lebih tinggi, sedangkan konsentrasi 2,0% menghasilkan kandungan Cr^{6+} akar tertinggi tetapi pertumbuhan tanaman yang lebih rendah. Hal ini menunjukkan adanya trade-off antara respons pertumbuhan dan retensi Cr^{6+} pada akar. Dengan demikian, konsentrasi ekoenzim yang menghasilkan akumulasi Cr^{6+} tertinggi belum tentu merupakan konsentrasi yang paling baik untuk mempertahankan pertumbuhan tanaman.



Gambar 4. Kadar kromium heksavalen (Cr^{6+}) pada *T. erecta* selama 6 minggu pengamatan (akhir) dengan konsentrasi ekoenzim kontrol (0%), 0,5%, 1,0%, 1,5%, dan 2,0%. Angka dengan superskrip berbeda pada diagram menunjukkan ada perbedaan nyata antar perlakuan.

KESIMPULAN

Pemberian ekoenzim memberikan respons berbeda terhadap pertumbuhan, kandungan

klorofil, dan akumulasi Cr^{6+} pada *Tagetes erecta* L. Konsentrasi ekoenzim 1,0% memberikan respons pertumbuhan terbaik pada beberapa parameter, terutama tinggi tanaman, jumlah daun, dan

panjang akar. Pemberian ekoenzim juga memengaruhi kandungan klorofil pada beberapa perlakuan. Konsentrasi 2,0% menghasilkan kandungan Cr^{6+} tertinggi pada akar, sedangkan akumulasi pada daun cenderung lebih rendah. Dengan demikian, konsentrasi 1,0% lebih mendukung pertumbuhan, sedangkan 2,0% lebih mendukung retensi Cr^{6+} pada akar.

DAFTAR PUSTAKA

- Bardiya-Bhurat, K., Sharma, S., Mishra, Y., & Patankar, C. (2017). *Tagetes erecta* (marigold), a phytoremediant for Ni- and Pb-contaminated area: a hydroponic analysis and factors involved. *Rendiconti Lincei*, 28(4), 673–678. <https://doi.org/10.1007/s12210-017-0636-9>
- Bose, S. K., Chakraborty, Mandal, K., Das, D., Mistri, G., Kar, S., Laha, A., & Ghosh, S. (2023). A review on phytoremediation capability of *Tagetes erecta* Linn. against heavy metals. *Journal of Advance Zoology*, 44, 1770–1780.
- Das, P. K., Das, B. K., Das, B. P., & Dash, P. (2024). Toxicity of rhizospheric cadmium contaminated soil and its Phytoremediation. *springer water, Part F2532*, 227–264. https://doi.org/10.1007/978-3-031-54005-9_10
- Dichala, O., Therios, I., Koukourikou-Petridou, M., Papadopoulos, A., & Sotiropoulos, T. (2020). Biochemical and physiological responses of three pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars grown under Cr^{6+} stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20(1), 1–11. <https://doi.org/10.1007/s42729-019-00094-z>
- Dotaniya, M. L., Thakur, J. K., Meena, V. D., Jajoria, D. K., & Rathor, G. (2014). Chromium pollution: A threat to environment-A review. *Agricultural Reviews*, 35(2), 153. <https://doi.org/10.5958/0976-0741.2014.00094.4>
- Escudero-Villa, P., Núñez-Sánchez, J., Núñez-Sánchez, L., Silva-Merchán, D., & Paredes-Fierro, J. (2024). Bioaccumulation of hexavalent chromium in lettuce (*Lactuca sativa* L.) and Swiss chard (*Beta vulgaris* var. *cicla*). *Urban Agriculture and Regional Food Systems*, 9(1). <https://doi.org/10.1002/uar2.20057>
- Ginting, N. A., Ginting, N., Sembiring, I., & Sinulingga, S. (2021). Effect of eco enzymes dilution on the growth of turi plant (*Sesbania grandiflora*). *Jurnal Peternakan Integratif*, 9(1), 29–35. <https://doi.org/10.32734/jpi.v9i1.6490>
- Khatua, S., & Kumar Dey, S. (2023). The chemistry and toxicity of chromium pollution: An Overview. *Asian Journal of Agricultural and Horticultural Research*, 10(2), 1–14. <https://doi.org/10.9734/ajahr/2023/v10i2221>
- Kosim, M. E., Siskayanti, R., Prambudi, D., & Rusanti, W. D. (2022). Perbandingan kapasitas adsorpsi karbon aktif dari kulit singkong dengan karbon aktif komersil terhadap logam tembaga dalam limbah cair electroplating. *Jurnal Redoks*, 7(1), 36–47. <https://doi.org/10.31851/redoks.v7i1.6637>
- Kriswantoro, H., Nasser, G. A., Zairani, F. Y., Nisfuriah, L., Rompas, J. P., Dali, D., Hasani, B., Yulianto, D., & Sofian, A. (2022). Utilization of eco-enzyme from household organic waste to maintain soil fertility and plant pest control. *Altifani Journal: International Journal of Community Engagement*, 3(1), 7. <https://doi.org/10.32502/altifani.v3i1.5355>
- Larasati, D., Puji Astuti, A., & Triwahyuni Maharani, E. (2020). Uji organoleptik produk eco-enzyme dari limbah kulit buah (studi kasus di Kota Semarang). *Edusaintek*, 4, 278–283.
- Lubis N, Wasito M, Marlina L, Girsang R, Wahyudi H. 2022. Respon pemberian ekoenzim dan pupuk organik cair terhadap pertumbuhan dan produksi bawang merah (*Allium ascalonicum* L.). *Agrium* 25 (2): 107-115. DOI: 10.30596/agrium.v25i2.10354
- Madumo, T. M. (2016). Industrial wastewater treatment past and future perspectives in technological advances for mitigation of Cr (VI) pollutant. *Intech*, 11 (tourism), 13. <https://www.intechopen.com/books/advanced-biometric-technologies/liveness-detection-in-biometrics>
- Maryudi, Rahayu, A., Syauqi, R., & Islami, M. K. (2021). Teknologi pengolahan kandungan kromium dalam limbah penyamakan kulit menggunakan proses adsorpsi: Review. 5(April), 90–99
- Mataradja, G. L., & Kasmiyati, S. (2023). Effect interaction of sulfat (SO_4^{2-}) and chromate (CrO_4^{2-}) on growth and Cr^{6+} accumulation in *Tagetes erecta* L. *Agric*, 35(1), 45–60.
- Matur, J., Sharma, M., & Jain, S. (2024). Arsenic

- tolerance in *Tagetes Erecta* L.: phytoaccumulation, physicochemical and anatomical studies through electron microscopy. *Departement of Bioscience and Biotechnology*, 226(0098–8472).
- Meitiniarti, V. I., Kasmiyati, S. R. I., Nugroho, R. A. D. I., & Krave, A. S. (2025). Identification and production of indole-3-acetic acid by bacteria isolated from eco-enzymes. 26(1), 111–117. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d260112>
- Meitiniarti, V. I., Putri, E. K., Runtu, A. E., Nugroho, R. A., Kasmiyati, S. 2022. Isolation and identification of Cr-resistant bacteria from the rhizosphere of *Tagetes* sp. and their ability to reduce Cr (VI), *Biodiversitas, Journal of Biological Diversity* 23 (8): 4117–4123. DOI: 10.13057/biodiv/d230832
- Narang, N., Hussain, A., & Madan, S. (2024). A comparative study on compost preparation using lab prepared eco-enzyme and its effect on growth of plant species *Phaseolus vulgaris*. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(25), 36230–36240. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27168-x>
- Nurzaman, M., Meilinda, P., Budiono, R., Setiawati, T., & Mutaqin, A. Z. (2016). Kadar klorofil pada beberapa tumbuhan obat. *Seminar Nasional Pendidikan Dan Saintek*, 66–71.
- Pandey, K., Saharan, B. S., Kumar, R., & Jabborova, D. (2024). Modern-day green strategies for the removal of chromium from wastewaters. November. <https://doi.org/10.3390/jox14040089>
- Prado, F. E., Hilal, M., Chocobar-ponce, S., Pagano, E., Rosa, M., & Prado, C. (2016). Chromium and the plant: a dangerous affair?., *Plant Metal Interaction*, 11, 149–177. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803158-2.00006-0>.
- Putra, A., Arman, E., Fitri, W. E., Mayaserli, D. P., Putra, A. Y., & Febria, F. A. (2024). The risks and impacts of chromium metals on human health and ecosystems. *Al-Kimia*, 12(1). <https://doi.org/10.24252/al-kimia.v12i1.47011>
- Sahara, E. (2022). Review: potensi Tanaman Marigold (*Tagetes erecta* L.) sebagai fitoremediator. *Jurnal Kimia*, 16(1), 109. <https://doi.org/10.24843/jchem.2022.v16.i01.p14>
- Salsabila RK, Winarsih. 2023. Efektivitas pemberian ekoenzim kulit buah sebagai pupuk organik cair terhadap pertumbuhan tanaman sawi pakcoy (*Brassica rapa* L.). *LenteraBio* 12 (1): 50-59
- Sembiring, S. D. B. J., Ginting, N., Umar, S., & Ginting, S. (2021). Effect of eco enzymes concentration on growth and production of kembang telang plant (*Clitoria ternatea* L.) as Animal Feed. *Jurnal Peternakan Integratif*, 9(1), 36–46. <https://doi.org/10.32734/jpi.v9i1.6491>
- Sharma, P., Singh, S. P., Parakh, S. K., & Tong, Y. W. (2022). Health hazards of hexavalent chromium (Cr (VI)) and its microbial reduction. *bioengineered*, 13(3), 4923–4938. <https://doi.org/10.1080/21655979.2022.2037273>
- Sucahyo, & Kasmiyati, S. (2018). Respon enzim antioksidatif *Sonchus oleraceus* terhadap cekaman krom pada media tanam berbeda. *Jurnal Biologi Indonesia*, 14(1), 51–59. <https://doi.org/10.47349/jbi/14012018/51>
- Tastanov, Y., Serzhanova, N., Ultarakova, A., Sadykov, N., Yerzhanova, Z., & Tastanova, A. (2023). Recycling of chrome containing waste from a mining and processing plant to produce industrial products. *Processes*, 11(6). <https://doi.org/10.3390/pr11061659>
- Xiao, J., Wang, D., Sinchan, B., Mushinski, R., Jin, D., & Deng, Y. (2024). Response patterns of the microbiome during hexavalent chromium remediation by *Tagetes erecta* L. *Science of the Total Environment*, 935(February), 173413. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173413>
- Yadav, A. K., Jha, P., Desai, N., & Jobby, R. (2019). *Plant-Chromium Interactions: from toxicity to remediation* (pp. 169–189). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20732-8_9
- Zainudin, Z., & Kesumaningwati, R. (2022). Pengaruh eco-enzyme terhadap kandungan logam berat lahan bekas tambang batubara. *Ziraa’Ah Majalah Ilmiah Pertanian*, 47(2), 154. <https://doi.org/10.31602/zmip.v47i2.6551>
- Zhu, G., Cheng, D., Liu, X., Nie, P., Zuo, R., Zhang, H., & Wang, X. (2020). Effects of garbage enzyme on the heavy metal contents and

the growth of castor under mine tailing.
*IOP Conference Series: Earth and
Environmental Science*, 474(2).
[https://doi.org/10.1088/1755-
1315/474/2/022010](https://doi.org/10.1088/1755-1315/474/2/022010)