

## Peningkatan Laju Pertumbuhan *Tagetes erecta* L. pada Cekaman Krom Heksavalen dengan *Trichoderma viride*

### Enhancement of Growth Rate of *Tagetes erecta* L. under Hexavalent Chromium Stress with *Trichoderma viride*

Audri Septina Putri Rimanti, Sri Kasmiyati\*, Elizabeth Betty Elok Kristiani

Program Studi Biologi, Fakultas Biologi, Universitas Kristen Satya Wacana,

Jl. Diponegoro No. 52 – 60, Salatiga, Jawa Tengah, Indonesia, 50711

\*Email : kas@uksw.edu

Diterima 12 Desember 2023 / Disetujui 18 Maret 2024

#### ABSTRAK

Kromium heksavalen ( $\text{Cr}^{6+}$ ) merupakan polutan kromium dengan toksisitas lebih tinggi dibandingkan kromium trivalen. *Tagetes erecta* merupakan tanaman fitoremediasi yang sudah banyak diteliti untuk meremediasi lingkungan yang tercemar polutan Cr. *Trichoderma viride* adalah satu jenis jamur yang dapat dimanfaatkan sebagai stimulator pertumbuhan tanaman pada lingkungan yang tercemar logam berat. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis efek *T. viride* terhadap laju pertumbuhan tanaman *T. erecta* pada kondisi cekaman logam  $\text{Cr}^{6+}$ . Penelitian ini dilakukan menggunakan rancangan acak lengkap dua faktor. Faktor pertama adalah dosis kerapatan spora *T. viride* terdiri dari 0 (tanpa) dan  $10^8$  sebanyak 10 ml/tanaman. Faktor kedua adalah konsentrasi  $\text{Cr}^{6+}$  terdiri dari 0, 10, 50, dan 100 mg  $\text{Cr}^{6+}$ /L. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *T. viride* mampu meningkatkan secara nyata laju pertumbuhan tinggi tanaman, jumlah daun dan jumlah bunga *T. erecta* pada kondisi cekaman  $\text{Cr}^{6+}$ . *T. viride* mampu meningkatkan tinggi tanaman kontrol dan tanaman yang diberi perlakuan  $\text{Cr}^{6+}$  10, 50 dan 100 mg  $\text{Cr}^{6+}$ /L berturut-turut sebesar 5,49%, 4,52%, 7,80%, dan 9,88%, sedangkan jumlah daun tanaman yang diberi perlakuan *T. viride* berturut-turut meningkat sebesar 8,01%, 10,17%, 14,33% dan 18,95% dibandingkan tanaman *T. erecta* tanpa perlakuan penambahan *T. viride*. Jumlah bunga pada tanaman yang diberi perlakuan *T. viride* dengan cekaman  $\text{Cr}^{6+}$  sebesar 10, 50 dan 100 mg  $\text{Cr}^{6+}$ /L mengalami peningkatan berturut-turut sebesar 65,38%, 52,63%, 64,29%, dan 70,00% dibandingkan tanaman tanpa perlakuan *T. viride*.

**Kata kunci:** respon fisiologis, laju pertumbuhan, kromium heksavalen, *Tagetes erecta*, *Trichoderma viride*

#### ABSTRACT

Hexavalent chromium ( $\text{Cr}^{6+}$ ) is a chromium pollutant with higher toxicity than trivalent chromium. *Tagetes erecta* is a phytoremediator plant that has been widely studied to remediate environments contaminated with Cr pollutants. *Trichoderma viride* is a species of fungus that can be used as a plant growth stimulator in environments contaminated with heavy metals. The aim of this study was to analyze the effect of *T. viride* on the growth rate of *T. erecta* plants under  $\text{Cr}^{6+}$  metal stress conditions. This research was conducted using a two-factor completely randomized design. The first factor is the dose of *T. viride* spore density consisting of 0 (control) and  $10^8$  as much as 10 ml/plant. The second factor is the  $\text{Cr}^{6+}$  concentration consisting of 0, 10, 50, and 100 mg  $\text{Cr}^{6+}$ /L. The results showed that *T. viride* was able to significantly increase the growth rate of plant height, number of leaves and number of flowers of *T. erecta* under  $\text{Cr}^{6+}$  stress conditions. *T. viride* was able to increase the height of control plants and plants treated with  $\text{Cr}^{6+}$  10, 50 and 100 mg  $\text{Cr}^{6+}$ /L respectively by 5.49%, 4.52%, 7.80% and 9.88%, while the number leaves of plants treated with *T. viride* increased by 8.01%, 10.17%, 14.33% and 18.95% respectively compared to *T. erecta* plants without the addition of *T. viride*. The number of flowers on plants treated with *T. viride* with  $\text{Cr}^{6+}$  treatments of 10, 50 and 100 mg  $\text{Cr}^{6+}$ /L increased respectively by 65.38%, 52.63%, 64.29% and 70.00% compared to plants without *T. viride* treatment.

**Keywords:** Physiological responses, growth rate, hexavalent chromium, *Tagetes erecta*, *Trichoderma viride*

## PENDAHULUAN

Kromium (Cr) adalah salah satu jenis logam yang umum dimanfaatkan oleh manusia dalam kehidupan sehari-hari, yakni dalam industri penyamakan kulit, industri baja, industri pertambangan, dan electroplating atau pelapisan logam (Maryudi *et al.*, 2021). Kromium dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan bilangan oksidasinya, yakni dimulai dari -2 hingga +6 dan yang umum ditemukan di alam adalah kromium dengan bilangan oksidasi 2+, 3+, dan 6+ yang memiliki perbedaan sifat (Maryudi *et al.*, 2021). Cr<sup>2+</sup> mempunyai karakteristik basa, Cr<sup>3+</sup> mempunyai sifat amfoter, yakni dapat bersifat basa apabila terdapat senyawa asam maupun bersifat asam jika ada senyawa basa, serta Cr<sup>6+</sup> bersifat lebih asam dibandingkan dengan lainnya. Cr<sup>3+</sup> dan Cr<sup>6+</sup> merupakan bentuk kromium yang paling stabil dan ditemukan sebagai pencemar lingkungan dari aktivitas berbagai industri. Cr<sup>6+</sup> atau kromium heksavalen lebih toksik karena bersifat mutagenik, karsinogenik, tingkat oksidasi yang tinggi, sangat reaktif, dan kadar kelarutan yang sangat tinggi. Cr<sup>6+</sup> sangat berbahaya apabila terserap pada jaringan organisme, baik itu jaringan hewan maupun tumbuhan dan menyebabkan terjadinya gangguan pada permeabilitas membran serta dapat mengoksidasi sel (Sucahyo & Kasmiyati, 2018)

Pada hakikatnya, seluruh tumbuhan memiliki kemampuan dalam menyerap logam, namun dalam kadar toleransi tertentu bergantung pada spesiesnya. *Tagetes erecta* atau yang dikenal sebagai tanaman *marigold*, kenikir, dan gumitir adalah salah satu spesies tumbuhan fitoremediasi, yakni memiliki kemampuan menghadapi cekaman berbagai logam berat seperti Pb, Cd, dan Cr. *Tagetes erecta* dapat mentoleransi serta mampu mengalokasikan logam berat pada seluruh bagian tanaman, yakni daun, batang, bunga, dan akar tanpa menunjukkan adanya gangguan pada pertumbuhannya. Hal tersebut terjadi karena *Tagetes erecta* memproduksi antioksidan yang berperan untuk menahan efek toksik dari logam (Sahara, 2022).

*Trichoderma sp.* merupakan salah satu jamur tanah yang paling sering diisolasi dan terkenal karena kemampuan biokontrolnya terhadap

berbagai macam jamur patogen tanaman, serta memainkan peran penting dalam ekologi terutama terkait biodegradasi dan bioakumulasi berbagai logam berat dalam jumlah besar dari air limbah dan tanah, serta sebagai bioinokulan untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman (Ezzi & Lynch, 2005; Anand *et al.*, 2006; Maurya *et al.*, 2019). *T. viride* adalah salah satu anggota jamur dari genus *Trichoderma* yang telah banyak dilaporkan dapat digunakan dalam proses fitoremediasi, karena memiliki sifat paling resisten terhadap toksisitas senyawa kimia xenobiotik dan beracun baik sintetik maupun alami (Kacprzak *et al.*, 2014). Isolat *Trichoderma sp.* dilaporkan oleh Nongmaithem *et al.* (2016) memiliki toleransi dan potensi biosorpsi terhadap Ni, Cd dan logam berat lainnya. Telléz *et al.* (2017) melaporkan bahwa *T. viride* mampu meningkatkan toleransi tanaman bawang merah (*Allium cepa*) terhadap efek fitotoksik tembaga dan bahkan mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman dan kandungan klorofil. Berdasarkan hasil penelitian Tansengco *et al.* (2018) dilaporkan bahwa ada 4 jenis *Trichoderma* yang diisolasi dari suatu bekas tambang yang memiliki kemampuan toleransi tinggi terhadap campuran logam berat yang mengandung Cu, Cr, Pb, Ni dan Zn. *T. viride* selain sebagai agen untuk mengendalikan pathogen (antipathogen) pada tanaman, agen fitoremediasi, juga dapat berperan sebagai stimulator pertumbuhan untuk membantu tanaman menghadapi cekaman organisme penyebab penyakit pada tanaman maupun logam berat yang ada di tanah (Mukherjee *et al.*, 2013; Jumadi *et al.*, 2021). Pemanfaatan *T. viride* sebagai bioinokulan yang diasosiasikan dengan tanaman *T. erecta* sebagai agen fitoremediasi dalam rangka memacu pertumbuhan dan mengatasi cekaman logam berat kromium masih perlu dikaji lebih mendalam. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis efek *T. viride* terhadap pertumbuhan tinggi, jumlah daun dan jumlah bunga *T. erecta* pada kondisi cekaman logam Cr<sup>6+</sup>.

## METODE PENELITIAN

### Bahan dan Rancangan Perlakuan

Penelitian dilakukan dengan metode eksperimental menggunakan rancangan acak lengkap faktorial dengan dua faktor. Faktor pertama adalah dosis kerapatan spora *T. viride* yang terdiri dari 0 (tanpa penambahan *T. viride* sebagai kontrol) dan  $10^8$  sebanyak 10 ml/tanaman. Faktor kedua adalah konsentrasi  $Cr^{6+}$  terdiri dari 0, 10, 50, dan 100 mg  $Cr^{6+}$ /L. Masing-masing kontrol dan perlakuan dengan 5 ulangan, sehingga total unit perlakuan yang dibuat adalah sebanyak 40 unit. Bibit tanaman *T. erecta* diperoleh dari daerah Kopeng, Kabupaten Semarang, sedangkan isolat *T. viride* diperoleh dari Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Biologi, Universitas Kristen Satya Wacana. Kromium heksavalen yang digunakan berupa senyawa  $K_2Cr_2O_7$  atau kalium dikromat yang diperoleh dari Sigma-Aldrich. Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi cawan petri, jarum oase, tabung reaksi, hemocytometer, gelas Erlenmeyer, gelas beaker, gelas ukur, timbangan analitik, vortex, autoklaf, plastik tahan panas, dan penggaris.

#### **Persiapan tanaman *Tagetes erecta***

Bibit *T. erecta* yang digunakan dalam penelitian ini berumur 3 minggu, dengan rata-rata tinggi tanaman awal seragam yaitu 12,4 cm, dan jumlah daun berkisar antara 5- 6 helai daun per tanaman. Bibit tanaman dipindahkan ke dalam polibag ukuran 14 x 30 cm, yang masing-masing telah diisi dengan media tanam sebanyak 2 kg dengan komposisi 1 kg tanah dan 1 kg vermikompos. Sebelum digunakan sebagai media tanam, tanah dan vermikompos dicampur dan dimasukkan dalam plastik tahan panas, dan disterilisasi terlebih dahulu menggunakan autoklaf pada suhu  $121^{\circ}C$  selama 45 menit, dan dilakukan 2 kali periode sterilisasi. Bibit tanaman *T. erecta* yang sudah dipindah tanam dalam polibag, selanjutnya diaklimatisasi terlebih dahulu selama 1 minggu (7 hari).

#### **Penyiapan dan pemberian perlakuan *T. viride***

Isolat *T. viride* yang sudah ditumbuhkan dalam cawan petri dan tabung reaksi diambil sebanyak satu ose menggunakan batang ose dan

dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer yang sudah diisi dengan 100 ml akuades steril dan dihomogenkan menggunakan vortex. Kerapatan spora *T. viride* dihitung dengan hemocytometer untuk memperoleh kerapatan spora sebesar  $10^8$ . Suspensi *T. viride* sebanyak  $10^8$  diaplikasikan secara langsung pada lubang tanam *T. erecta* sebanyak 10 ml/tanaman pada awal penelitian setelah tanaman diaklimatisasi. Perlakuan tanpa pemberian *T. viride* sebagai kontrol.

#### **Pembuatan dan pengaplikasian larutan $Cr^{6+}$**

Larutan perlakuan  $Cr^{6+}$  dibuat dengan cara melarutkan serbuk  $K_2Cr_2O_7$  dalam akuades. Larutan stok yang dibuat adalah konsentrasi  $Cr^{6+}$  sebesar 100 mg  $Cr^{6+}$ /L menggunakan serbuk  $K_2Cr_2O_7$  dengan takaran sebanyak 0,3 gram dalam 1 liter akuades. Perlakuan konsentrasi  $Cr^{6+}$  dibuat dari larutan stok melalui pengenceran menjadi 50 mg  $Cr^{6+}$ /L dan 10 mg  $Cr^{6+}$ /L. Larutan  $Cr^{6+}$  yang telah dibuat untuk masing-masing perlakuan diaplikasikan pada media tanam satu hari sebelum ditanami *T. erecta* ditanam dan sebelum pemberian *T. viride*. Penyiraman larutan perlakuan  $Cr^{6+}$  dalam media tanam sebanyak 50 ml/polibag. Penyiraman larutan  $Cr^{6+}$  dalam media tanam dilakukan kembali pada minggu ke-3 dan minggu ke-6.

#### **Pemeliharaan tanaman dan pengukuran parameter pertumbuhan *T. erecta***

Pemeliharaan tanaman selama penelitian dengan cara disirami setiap hari menggunakan air sebanyak 50 ml/polibag, kecuali pada saat pemberian larutan perlakuan  $Cr^{6+}$ . Pemeliharaan tanaman dilakukan sampai akhir penelitian selama 8 minggu setelah awal pemberian perlakuan *T. viride* dan  $Cr^{6+}$ . Pengukuran dan pengamatan pertumbuhan tanaman *T. erecta* berdasarkan parameter tinggi tanaman, jumlah daun, dan jumlah bunga yang dilakukan pada minggu ke-1 (setelah diberi perlakuan awal) dan di akhir penelitian (minggu ke-8). Pengukuran tinggi tanaman dilakukan dari pangkal batang sampai sampai titik tumbuh tanaman menggunakan penggaris/meteran. Jumlah daun dan jumlah bunga dihitung berdasarkan jumlah daun dan bunga yang ada saat

pengamatan pada setiap tanaman, dan sudah membuka serta lengkap bagian-bagiannya.

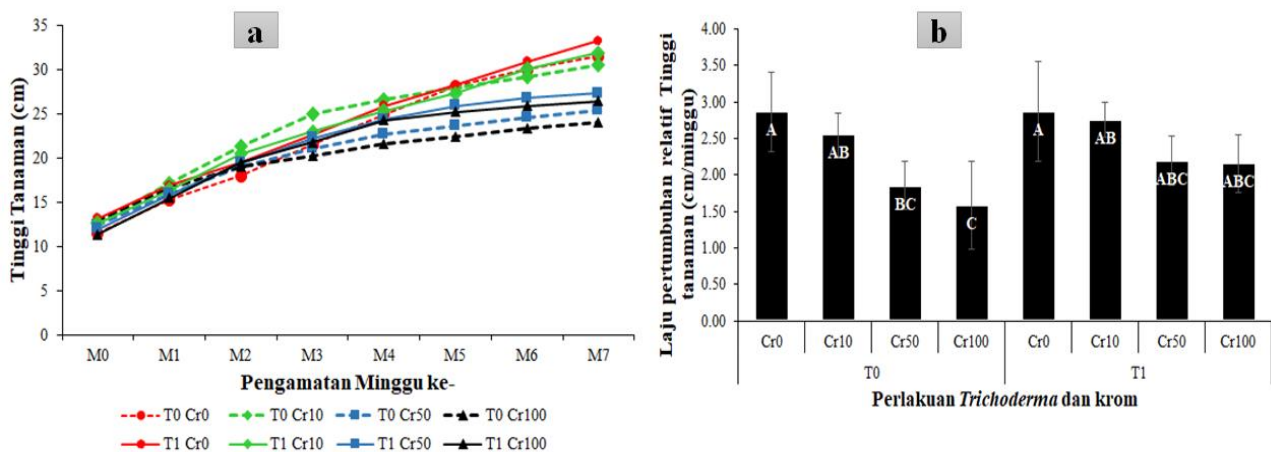
### Analisis Data

Data pertumbuhan tinggi tanaman, jumlah daun dan jumlah bunga dianalisis secara statistik menggunakan analisis sidik ragam dua arah (*two-way ANOVA*) dan diuji lanjut dengan uji DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*) taraf uji 5% untuk mengetahui beda nyata di antara rata-rata perlakuan. Analisis statistik menggunakan program SAS (*Statistical Analysis System*) versi 9.1.3.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Laju pertumbuhan tanaman *T. erecta* diamati pada parameter tinggi tanaman, jumlah daun dan

jumlah bunga. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tinggi tanaman, jumlah daun dan jumlah bunga *T. erecta* bervariasi di antara perlakuan *T. viride* dan  $\text{Cr}^{6+}$ . Pertumbuhan tinggi tanaman, jumlah daun, dan jumlah bunga *T. erecta* yang diberi perlakuan isolat jamur *T. viride* menunjukkan pertumbuhan yang lebih tinggi dibandingkan tanpa pemberian isolat *T. viride* pada perlakuan cekaman  $\text{Cr}^{6+}$  sebesar 10 – 100 mg/l. Penambahan *T. viride* mampu meningkatkan secara nyata pertumbuhan dan laju pertumbuhan tinggi tanaman, jumlah daun dan jumlah bunga *T. erecta* dibandingkan tanaman yang tidak diberi penambahan *T. viride* pada perlakuan cekaman  $\text{Cr}^{6+}$  sebesar 10 – 100 mg/L.



Gambar 1. Pertumbuhan tinggi tanaman selama 8 minggu pengamatan (M0 – M7) (a) dan laju pertumbuhan relatif tinggi tanaman *T. erecta* (b) pada perlakuan  $\text{Cr}^{6+}$  (Cr0: 0 mg/L, Cr10: 10 mg/L, Cr50: 50 mg/L, dan Cr100: 100 mg/L) dan perlakuan *T. viride* (T0: tanpa penambahan *T. viride*, T1: dengan penambahan *T. viride*).

Pertambahan tinggi tanaman *T. erecta* selama 8 minggu menunjukkan peningkatan dari minggu pertama sampai minggu ketujuh (akhir) pengamatan untuk semua perlakuan (Gambar 1a). Namun, apabila dilihat dari laju pertumbuhan relatifnya menunjukkan perbedaan (Gambar 1b). Tinggi tanaman kontrol tanpa  $\text{Cr}^{6+}$  dan dengan perlakuan  $\text{Cr}^{6+}$  sebesar 10 mg/L yang diberi perlakuan *T. viride* menunjukkan pertumbuhan selama 8 minggu dan laju pertumbuhan lebih tinggi dan berbeda nyata dengan perlakuan  $\text{Cr}^{6+}$  50 mg/L dan 100 mg/L baik pada tanaman yang diberi maupun tanpa perlakuan *T. viride*. Tanaman *T.*

*erecta* dengan perlakuan  $\text{Cr}^{6+}$  sebesar 50 dan 100 mg/L yang diberi penambahan isolat *T. viride* menunjukkan pertumbuhan dan laju pertumbuhan relatif tinggi tanaman lebih besar dibandingkan yang tidak diberi penambahan *T. viride*. Penambahan *T. viride* mampu meningkatkan tinggi tanaman pada tanaman kontrol dan tanaman yang diberi perlakuan  $\text{Cr}^{6+}$  10, 50 dan 100 mg/L berturut-turut sebesar 5,49%, 4,52%, 7,80%, dan 9,88% dibandingkan tanaman *T. erecta* yang tidak diberi perlakuan penambahan *T. viride*. Peningkatan tinggi tanaman sampai minggu ke-5 masih belum menunjukkan beda nyata di antara perlakuan,

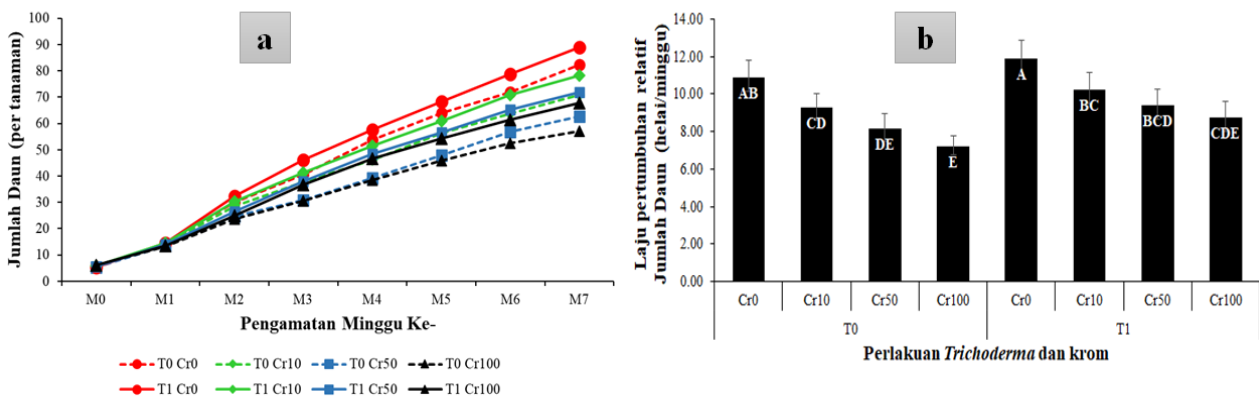
perbedaan secara nyata baru mulai terlihat pada minggu ke-6 (Gambar 2).

Hasil ini menunjukkan bahwa *T. viride* memiliki kemampuan untuk meningkatkan toleransi tanaman *T. erecta* terhadap toksisitas Cr<sup>6+</sup> melalui pertumbuhan tinggi tanaman. Berdasarkan hasil penelitian He et al., (2020) dilaporkan bahwa penambahan inokulum *T. viride* pada tanaman *Glycyrrhiza uralensis* mampu meningkatkan biomassa, panjang, diameter dan luas permukaan akar. Peningkatan pertumbuhan akar ini berperan penting dalam meningkatkan penyerapan unsur hara tanaman yang akan ditranspor ke bagian pucuk tanaman dan digunakan untuk meningkatkan pertumbuhan percabangan tanaman dan tinggi

tanaman. Beberapa spesies *Trichoderma* dilaporkan mampu meningkatkan secara signifikan pertumbuhan tinggi tanaman, diantaranya pada bibit dan tanaman *Oryza sativa* (Doni et al. 2014; 2018), *Zea mays* (Herrera-Jiménez et al., 2018), *Triticum aestivum* (Mahato et al., 2018), *Pinus sylvestris* (Halifu et al., 2019), tomat (Rizal et al., 2019), dan bunga kol (Ji et al., 2020). Peningkatan tinggi tanaman oleh jamur anggota *Trichoderma* sp. termasuk *T. viride* dilaporkan melalui mekanisme efisiensi penggunaan nutrisi dan toleransi terhadap cekaman abiotik dan biotik, serta produksi fitohormon yang berperan dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman (Chowdappa et al., 2013; Doni et al. 2014)



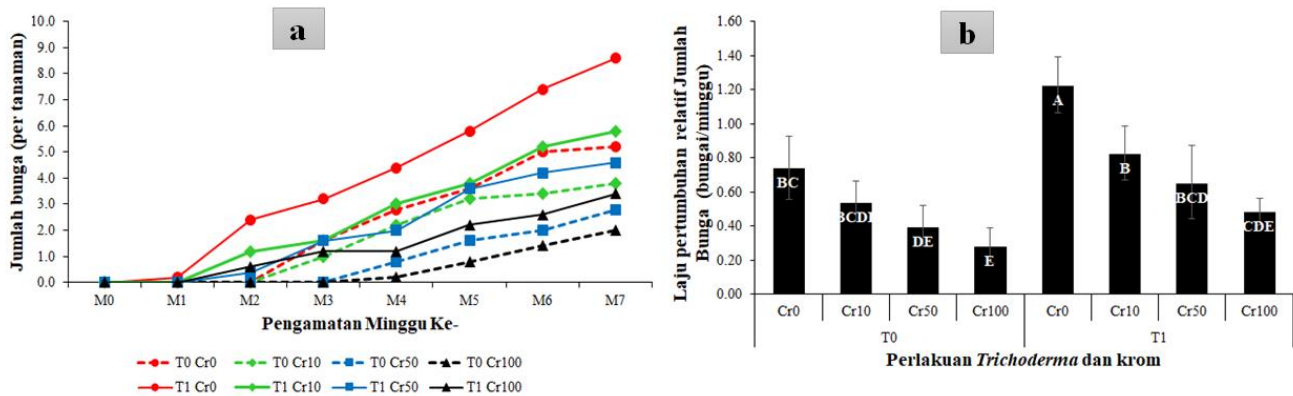
Gambar 2. Pertumbuhan tanaman *T. erecta* pada pengamatan minggu ke-4 pada perlakuan Cr<sup>6+</sup> (Cr0: 0 mg/L, Cr10: 10 mg/L, Cr50: 50 mg/L, dan Cr100:100 mg/L) dan perlakuan *T. viride* (T0: tanpa penambahan *T. viride*, T1: dengan penambahan *T. viride*).



Gambar 3. Pertambahan jumlah daun selama 8 minggu pengamatan (M0 – M7) (a) dan laju pertumbuhan relatif jumlah daun *T. erecta* (b) pada perlakuan Cr<sup>6+</sup> (Cr0: 0 mg/L, Cr10: 10 mg/L, Cr50: 50 mg/L, dan Cr100:100 mg/L) dan perlakuan *T. viride* (T0: tanpa penambahan *T. viride*, T1: dengan penambahan *T. viride*).

Jumlah daun tanaman *T. erecta* pada perlakuan  $\text{Cr}^{6+}$  dan *T. viride* menunjukkan peningkatan selama 8 minggu pengamatan untuk semua perlakuan, dan peningkatan paling besar dijumpai pada tanaman kontrol (tanpa  $\text{Cr}^{6+}$ ) yang diberi inokulum *T. viride*. Peningkatan jumlah daun semua tanaman *T. erecta* yang diberi perlakuan *T. viride* dan  $\text{Cr}^{6+}$  menunjukkan pertumbuhan jumlah daun lebih besar dan berbeda nyata dibandingkan dengan tanaman tanpa perlakuan *T. viride* (Gambar 3a). Laju pertumbuhan relatif jumlah daun pada *T. erecta* pada perlakuan  $\text{Cr}^{6+}$  yang diberi penambahan isolat *T. viride* juga menunjukkan peningkatan yang lebih besar dibandingkan tanpa penambahan *T. viride* (Gambar 3b). Perlakuan *T. viride* pada *T. erecta* yang diberi perlakuan  $\text{Cr}^{6+}$  sebesar 10, 50 dan 100 mg/L meningkatkan secara nyata jumlah daun. Peningkatan jumlah daun tanaman yang diberi perlakuan  $\text{Cr}^{6+}$  10, 50 dan 100 mg/L dengan penambahan *T. viride* masing-masing berturut-turut sebesar 8,01%, 10,17%, 14,33% dan 18,95% dibandingkan tanaman *T. erecta* tanpa perlakuan

penambahan *T. viride*. Jumlah daun tertinggi dijumpai pada tanaman kontrol tanpa  $\text{Cr}^{6+}$  dengan penambahan *T. viride*, sedangkan jumlah daun terendah dijumpai pada tanaman yang diberi  $\text{Cr}^{6+}$  sebesar 100 mg/L tanpa penambahan *T. viride*. Hasil ini menunjukkan bahwa pada kondisi ada cekaman toksisitas  $\text{Cr}^{6+}$ , *Trichoderma viride* mampu mengurangi efek toksik  $\text{Cr}^{6+}$  terhadap pertumbuhan daun *T. erecta*. Rizal et al. (2019) melaporkan bahwa jamur *Trichoderma* mampu meningkatkan jumlah daun pada tomat (*Solanum lycopersicum*), dan jumlah daun yang dihasilkan berkorelasi positif dengan dosis *Trichoderma* sp. yang diberikan, semakin besar dosis *T. viride* yang diberikan semakin banyak jumlah daun yang dihasilkan. Humberto et al. (2020) melaporkan bahwa jamur *Trichoderma* mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman dan melindungi efek toksik dari cekaman logam berat melalui biosintesis hormon tanaman dan penyerapan serta translokasi unsur hara.



Gambar 4. Pertambahan jumlah bunga selama 8 minggu pengamatan (M0 – M7) (a) dan laju pertumbuhan relatif jumlah bunga *T. erecta* (b) pada perlakuan  $\text{Cr}^{6+}$  (Cr0: 0 mg/L, Cr10: 10 mg/L, Cr50: 50 mg/L, dan Cr100:100 mg/L) dan perlakuan *T. viride* (T0: tanpa penambahan *T. viride*, T1: dengan penambahan *T. viride*).

Perlakuan  $\text{Cr}^{6+}$  secara nyata menurunkan pertumbuhan bunga *T. erecta* sejalan dengan meningkatnya konsentrasi perlakuan  $\text{Cr}^{6+}$ . Tanaman *T. erecta* yang diberi cekaman  $\text{Cr}^{6+}$  100 mg/L menghasilkan bunga paling sedikit dibandingkan perlakuan lainnya. Penambahan *T. viride* pada media tanam *T. erecta* yang diberi

cekaman  $\text{Cr}^{6+}$  10 – 100 mg/L menghasilkan jumlah bunga yang lebih banyak dibandingkan yang tanpa ditambah perlakuan *T. viride*, dan jumlah bunga terus meningkat sampai pada akhir penelitian (minggu ke-8). Munculnya bunga pada semua tanaman teramati mulai minggu ke-2 (M2) dan terus mengalami peningkatan hingga minggu ke-7.

Apabila dilihat peningkatannya, jumlah bunga dari semua perlakuan tanaman masih dapat bertambah (Gambar 4a). Jumlah bunga paling banyak dijumpai pada tanaman kontrol tanpa perlakuan  $\text{Cr}^{6+}$  dengan penambahan *T. viride*, sedangkan yang paling sedikit pada perlakuan  $\text{Cr}^{6+}$  100 mg/L tanpa penambahan *T. viride*. Perlakuan  $\text{Cr}^{6+}$  dan *T. viride* secara nyata mempengaruhi jumlah bunga *T. erecta*. Perlakuan  $\text{Cr}^{6+}$  secara nyata menurunkan jumlah bunga, dan penambahan *T. viride* meningkatkan secara nyata jumlah bunga pada tanaman dengan cekaman  $\text{Cr}^{6+}$  (Gambar 4b). Laju pertumbuhan relatif jumlah bunga *T. erecta* pada kontrol dan cekaman  $\text{Cr}^{6+}$  tanpa penambahan *T. viride* lebih rendah jika dibandingkan tanaman yang diberi *T. viride*. Laju pertumbuhan jumlah bunga pada tanaman kontrol yang diberi *T. viride* paling tinggi dan berbeda nyata dibandingkan perlakuan lainnya. Peningkatan jumlah bunga pada tanaman yang diberi perlakuan *T. viride* dengan cekaman  $\text{Cr}^{6+}$  sebesar 10, 50 dan 100 mg/L berturut-turut sebesar 65,38%, 52,63%, 64,29%, dan 70,00% dibandingkan tanaman tanpa perlakuan *T. viride*.

Jumlah bunga pada tanaman *T. erecta* yang diberi perlakuan *T. viride* lebih banyak dibandingkan tanpa perlakuan *T. viride* pada kondisi ada cekaman  $\text{Cr}^{6+}$  menunjukkan bahwa *T. viride* mampu meningkatkan toleransi *T. erecta* terhadap toksisitas  $\text{Cr}^{6+}$  pada pembungaan. Mahato et al. (2018) melaporkan bahwa *T. viride* yang diaplikasikan pada tanaman gandum (*Triticum aestivum*) mampu meningkatkan jumlah perbungaan bulir sebesar 3,8% dibandingkan tanaman kontrol. Berdasarkan hasil penelitian Ji et al. (2020) juga dilaporkan peningkatan produksi bunga pada tanaman kembang kol cina yang diberi perlakuan *Trichoderma*. Andrzejak & Janowska (2022) melaporkan peningkatan jumlah bunga pada *Gladiolus hybridus* yang diberi perlakuan *Trichoderma* spp. Peningkatan pertumbuhan tanaman baik vegetatif maupun generatif pada kondisi cekaman logam berat oleh jamur *Trichoderma* spp. telah dilaporkan pada *Miscanteus giganteus* pada cekaman toksisitas kromium, nikel dan tembaga (Kacprzak et al., 2014), bawang merah pada cekaman tembaga (Télléz et al., 2017), bunga matahari pada cekaman toksisitas timbal (Devi et al., 2017), jagung pada cekaman kadmium (He et

al., 2021), serta *Brassica juncea* pada cekaman kadmium dan arsenik (Yao et al., 2023).

Peran *T. viride* dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman terutama dikaitkan dengan peningkatan penyerapan unsur hara tanaman yang disebabkan oleh meningkatnya efisiensi pelarutan unsur hara makro dan mikro yang selanjutnya mempengaruhi metabolisme (Hermosa et al., 2012). *Trichoderma* yang mengkolonisasi akar tanaman memproduksi fitohormon dan dapat menginduksi mekanisme pertahanan pada tanaman karena *Trichoderma* memiliki sistem pertahanan yang tinggi terhadap cekaman diantaranya senyawa xenobiotik dan logam berat (Hernández-Flores et al., 2018). *Trichoderma* memproduksi asam organik seperti asam glukonat, asam sitrat, dan asam fumarat yang berperan menurunkan pH tanah, khususnya di daerah rhizosfer untuk melarutkan unsur hara makro dan mikro yang dibutuhkan tanaman untuk proses metabolisme, terutama saat berada di bawah cekaman logam berat (Kacprzak et al., 2014).

## KESIMPULAN

Penambahan inokulum *T. viride* pada media pertumbuhan *T. erecta* yang diberi perlakuan cekaman logam berat  $\text{Cr}^{6+}$  mampu meningkatkan tinggi tanaman, jumlah daun dan jumlah bunga dibandingkan tanaman tanpa penambahan *T. viride*. Tanaman *T. erecta* mengalami penurunan laju pertumbuhan tinggi tanaman, jumlah daun dan jumlah bunga pada kondisi cekaman  $\text{Cr}^{6+}$ . *T. viride* mampu meningkatkan toleransi *T. erecta* terhadap toksisitas  $\text{Cr}^{6+}$  melalui peningkatan laju pertumbuhan tinggi tanaman, jumlah daun dan jumlah bunga. Tanaman *T. erecta* pada cekaman konsentrasi  $\text{Cr}^{6+}$  sebesar 100 mg/L mengalami peningkatan tinggi tanaman, jumlah daun, dan jumlah bunga tertinggi dibanding perlakuan  $\text{Cr}^{6+}$  10 dan 50 mg/L yaitu berturut-turut sebesar 9,88%, 18,95%, dan 70,00%.

## DAFTAR PUSTAKA

Andrzejak, R., & Janowska, B. (2022). Flowering, nutritional status, and content of chloroplast pigments in leaves of *Gladiolus hybridus* L. 'advances red' after application of

- Trichoderma* spp. *Sustainability*, 14(8), 4576, 1-13. <https://doi.org/10.3390/su14084576>
- Anand, P., Isar, J., Savan, S., & Saxena, P.K. (2006). Bioaccumulation of copper by *Trichoderma viride*. *Bioresource Technology*, 97, 1018-1025. doi: 10.1016/j.biortech.2005.04.046
- Chowdappa, P., Kumar, S.P.M., Lakshmi, M.J., & Upreti, K.K. (2013). Growth stimulation and induction of systemic resistance in tomato against early and late blight by *Bacillus subtilis* OTPB1 or *Trichoderma harzianum* OTPB3. *Biological Control*, 65, 109–117. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2012.11.009>
- Doni, F., Isahak, A., Zain, C.R.C.M., Ariffin, S.M., Mohamad, W.N.W., & Yusoff, W M.W. (2014). Formulation of *Trichoderma* sp. SL2 inoculants using different carriers for soil treatment in rice seedling growth. *SpringerPlus*, 3, 532, 1-5. doi: 10.1186/2193-1801-3-532
- Doni, F., Zain, C.R.C.M., Isahak, A., Fathurrahman, F., Anhar, A., Mohamad, W.N.A.W., Yusoff, W.M.W., & Uphoff, N. (2018). A simple, efficient, and farmer-friendly *Trichoderma*-based biofertilizer evaluated with the SRI Rice Management System. *Organic Agriculture*, 8(3), 207-223. doi:10.1007/s13165-017-0185-
- Ezzi, M.I., & Lynch, J.M. (2005). Biodegradation of cyanide by *Trichoderma* spp. and *Fusarium* spp. *Enzyme and Microbial Technology*, 36, 849-854. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2004.03.030>
- Halifu, S., Deng, X., Song, X., & Song, R. (2019). Effects of two *Trichoderma* strains on plant growth, rhizosphere soil nutrients and fungal community of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* Annual Seedlings. *Forests*. 10(9), 758, 1-17. <https://doi.org/10.3390/f10090758>
- He, C., Wang, W., & Hou, J. (2020). Plant performance of enhancing licorice with dual inoculating dark septate endophytes and *Trichoderma viride* mediated via effects on root development. *BMC Plant Biology*, 20(325), 1-14. doi: 10.1186/s12870-020-02535-9
- Hernández-Flores, J.L., Melo, J.G.B., Hernández, A.C., López, M.A.R., Gutiérrez, C.S., Gomez, S.R., Moreno, V.P., Medina, R.P.C., Soto, J.H.V., Hernández, S.P., Jones, G.H., Flores, S.C., & Campos-Guillen, J. (2018). Isolation and characterization of mercury resistant *Trichoderma* strains from soil with high levels of mercury and its effects on *Arabidopsis thaliana* mercury uptake. *Advances in Microbiology*, 8, 600-613. doi: 10.4236/aim.2018.87040
- Herrera-Jiménez, E., Alarcón, A., Larsen, J., Ferrera-Cerrato, R., Cruz-Izquierdo, S., & Ferrera-Rodríguez, M.R. (2018). Comparative effects of two indole-producing *Trichoderma* strains and two exogenous phytohormones on the growth of *Zea mays* L., with or without tryptophan. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 18(1), 188-201. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162018005000704>
- Hermosa, R., Viterbo, A., Chet, I., & Monte, E. (2012). Plant-beneficial effects of *Trichoderma* and of its genes. *Microbiology*, 158, 17–25. doi: 10.1099/mic.0.052274-0
- Humberto, E.O., Daniel, D., & Luis, C. (2020). Patents on endophytic fungi for agriculture and bio and phytoremediation applications. *Microorganisms*, 8, 1237. doi: 10.3390/microorganisms8081237
- Ji, S., Liu, Z., Liu, B., Wang, Y., & Wang, J. (2020). The effect of *Trichoderma* biofertilizer on the quality of flowering Chinese cabbage and the soil environment. *Scientia Horticulturae*, 262, 109069. doi:10.1016/j.scienta.2019.109069
- Jumadi, O., Junda, M., Caronge, M.H., & Syafruddin. (2021). *Trichoderma* dan Pemanfaatan. Penerbit Jurusan Biologi FMIPA UNM.
- Kacprzak, M.J., Rosikon, K., Fijalkowski, K., & Grobelak, A. (2014). The effect of *Trichoderma* on heavy metal mobility and uptake by *Miscanthus giganteus*, *Salix* sp., *Phalaris arundinacea*, and *Panicum virgatum*. *Applied and Environmental Soil Science*, 506142, 1-10. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/506142>
- Mahato, S., Bhuju, S., & Shrestha, J. (2018). Effect of *Trichoderma viride* as biofertilizer on growth and yield of wheat. *Malaysian Journal of Sustainable Agriculture*, 2(2): 1-5. <https://doi.org/10.26480/mjsa.02.2018.01.05>
- Maryudi., Rahayu, A., Syauqi, R., & Islami, M.K. (2021). Teknologi pengolahan kandungan kromium dalam limbah penyamakan kulit menggunakan proses adsorpsi: review. *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, 5(1),



- 90-99. doi:  
<http://dx.doi.org/10.33795/jtkl.v5i1.207>
- Maurya, S., Rashk-E-Eram, Naik, S.K, Choudhary, J.S., & Kumar, S. (2019). Heavy metals scavenging potential of *Trichoderma asperellum* and *Hypocrea nigricans* isolated from acid soil of Jharkhand. *Indian Journal of Microbiology*, 15(1), 27-38. <https://doi.org/10.1007/s12088-018-0756-7>
- Mukherjee, K., Saha, R., Ghosh, A., & Saha, B. (2013). Chromium removal technologies. *Research on Chemical Intermediates*, 39(6), 2267-2286. doi: 10.1007/s11164-012-0779-3
- Nongmaithem, N., Roy, A., & Bhattacharya, P.M. (2016). Screening of *Trichoderma* isolates for their potential of biosorption of nikel and cadmium. *Brazilian of Journal Microbiology*, 47, 305-313. <http://doi.org/10.1016.01.008>.
- Rizal, S., Novianti, D., & Septiani, M. (2019). Pengaruh jamur *Trichoderma* sp. terhadap pertumbuhan tanaman tomat (*Solanum Lycopersicum* L.). *Indobiosains*, 1(2), 70-75. doi:10.31851/indobiosains.v1i2.3200
- Sahara, E. (2022). Review: Potensi tanaman marigold (*Tagetes erecta*) sebagai fitoremediator. *Jurnal Kimia*, 16(1), 109-114. <https://doi.org/10.24843/JCHEM.2022.v16.i01.p14>
- Sucahyo, & Kasmiyati, S. (2018). Respon enzim antioksidatif *Sonchus oleraceus* terhadap cekaman krom pada media tanam yang berbeda. *Jurnal Biologi Indonesia*, 14(1), 51-59. <https://doi.org/10.14203/jbi.v14i1.3661>
- Tansengco, M., Tejano, J., Coronado, F., Gacho, C., & Barcelo, J. (2018). Heavy metal tolerance and removal capacity of *Trichoderma* species isolated from mine tailings in Itogon, Benguet. *Environment and Natural Resources Journal*, 16(1), 39-57. <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/ennrj/article/view/106514>
- Téllez, V.J., Rodríguez-Monroy, M., López Meyer, M., Montes-Belmont, R., & Sepúlveda-Jiménez, G. (2017). *Trichoderma asperellum* ameliorates phytotoxic effects of copper in onion (*Allium cepa* L.). *Environmental and Experimental Botany*, 136, 85-93. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.01.009>
- Yao, X., Guo, H., Zhang, K., Zhao, M., Ruan, J., & Chen, J. (2023). *Trichoderma* and its role in biological control of plant fungal and nematode disease. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1160551, 1-15. doi: 10.3389/fmicb.2023.1160551