

Penghambatan Perkecambahan dan Pertumbuhan Kecambah *Tagetes erecta* pada Media Mengandung Kromium Heksavalen

The Inhibition of Germination and Growth of *Tagetes erecta* Sprouts on Media Containing Hexavalent Chromium

Juliana Sarioa, Sri Kasmiyati*, Susanti Pudji Hastuti

Fakultas Biologi Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga

Jl. Diponegoro 52-60, Salatiga, 50711

*Email: kas@uksw.edu

Diterima 10 Mei 2022 / Disetujui 8 November 2022

ABSTRAK

Perkecambahan biji merupakan fase kritis yang menentukan kelangsungan hidup dan toleransi tanaman pada lingkungan tercemar logam berat. Krom heksavalen (Cr^{6+}) adalah salah satu logam berat yang bersifat toksik bagi tumbuhan. Tujuan penelitian mengetahui efek Cr^{6+} terhadap perkecambahan biji dan pertumbuhan kecambah *Tagetes erecta*. Uji perkecambahan biji dan pertumbuhan kecambah dilakukan secara eksperimental menggunakan rancangan acak lengkap dengan 4 perlakuan konsentrasi Cr^{6+} (K_2CrO_4) meliputi 0 (kontrol), 5, 25, dan 50 mg/L. Jumlah biji berkecambah diamati setiap hari selama 10 hari dan digunakan untuk menentukan persentase perkecambahan dan indeks vigor kecambah. Pertumbuhan kecambah ditentukan berdasarkan panjang radikula dan panjang epikotil, dan bobot kering kecambah pada akhir penelitian. Cr^{6+} mempengaruhi secara signifikan perkecambahan dan pertumbuhan kecambah *T. erecta*. Konsentrasi Cr^{6+} sebesar 5, 25 dan 50 mg/L menurunkan secara signifikan ($p < 0,05$) persentase perkecambahan, indeks vigor kecambah, panjang radikula, panjang epikotil, dan bobot kering kecambah. Bobot kering kecambah *T. erecta* pada perlakuan Cr^{6+} 25 mg/L meningkat signifikan dibanding kontrol dan perlakuan Cr^{6+} lainnya, karena meskipun pertumbuhan memanjang epikotil dan radikulanya terhambat, namun diameter epikotil dan radikulanya tumbuh lebih besar dan lebih tebal sehingga mendukung lebih besarnya bobot kering. Hasil penelitian diharapkan mendukung pengembangan potensi dan pemanfaatan *T. erecta* sebagai agen fitoremediasi Cr.

Kata kunci: perkecambahan, kromium heksavalen, Tagetes erecta, logam berat, toksisitas

ABSTRACT

Seed germination is a critical phase that determines plant survival and tolerance in heavy metal polluted environments. Hexavalent chromium (Cr^{6+}) is a heavy metal that is toxic to plants. The aim of this study was to determine the inhibition effect of Cr^{6+} on the germination and sprout growth of *Tagetes erecta*. The seed germination and sprout growth tests were carried out experimentally using a completely randomized design with 4 concentrations of Cr^{6+} (K_2CrO_4) treatment including 0 (control), 5, 25, and 50 mg/L. The number of seeds that germinated was observed every day for 10 days, used to determine the percentage of germination and seedling vigor index. The sprout growth was determined based on radicle length and epicotyl length, and dry weight of sprouts at the end of the study. Cr^{6+} significantly affected the germination and sprouts growth of *T. erecta*. The Cr^{6+} concentrations of 5, 25 and 50 mg Cr^{6+} /L significantly reduced ($p < 0.05$) germination percentage, seedling vigor index, radicle length, epicotyl length, and wet weight of sprouts. The dry weight of *T. erecta* sprouts in the Cr^{6+} 25 mg/L treatment increased significantly compared to the control and other Cr^{6+} treatments, because although the elongation of the epicotyl and radicle was inhibited, the diameter of the epicotyl and radicle grew larger and thicker thus supporting a greater dry weight. These results are expected to support the potential development and utilization of *T. erecta* as a phytoremediation agent for Cr.

Keywords: germination, hexavalent chromium, Tagetes erecta, heavy metals, toxicity

PENDAHULUAN

Kromium (Cr) merupakan salah satu logam berat yang banyak mendapat perhatian serius saat ini, karena mengalami peningkatan melebihi batas ambang dan tergolong polutan toksik baik terhadap mikroorganisme, tumbuhan, hewan maupun manusia (Wakeel dan Xu, 2020; Coetzee *et al.*, 2020; Srivastava *et al.*, 2021). Penggunaan Cr pada berbagai aktivitas antropogenik memiliki dampak terhadap peningkatan polutan Cr di lingkungan. Efek Cr dapat bersifat menguntungkan atau merugikan pada organisme tergantung pada penyerapan, waktu paparan dan tingkat oksidasi. Cr trivalen (Cr^{3+}) menguntungkan dan merupakan salah satu unsur esensial dan memiliki sifat antioksidatif secara *in vivo*, berperan dalam aksi insulin (Shadreck dan Mugadza, 2013). Cr^{6+} merugikan terhadap mikroorganisme, hewan maupun tumbuhan karena merupakan bentuk paling teroksidasi, reaktif, dan sangat toksik, karsinogenik, mutagenik, dan teratogenik (Sun *et al.*, 2022), dapat mengubah permeabilitas membran dan mengoksidasi sel organisme, serta dapat diserap 3-5 kali lebih banyak dibandingkan Cr^{3+} . Cr^{6+} dilaporkan memiliki toksisitas 10 – 100 kali lebih tinggi dibandingkan Cr^{3+} . Meskipun Cr^{3+} menguntungkan bagi hewan dan manusia, pada konsentrasi tinggi dapat bersifat toksik. Cr^{3+} maupun Cr^{6+} dapat diserap oleh tumbuhan (Srivastava *et al.*, 2021). Keberadaan Cr di tanah dapat mempengaruhi pertumbuhan dan produktivitas tanaman (Singh *et al.*, 2013; Singh *et al.*, 2020). Cr^{6+} sangat beracun bagi tanaman dan menghambat berbagai aktivitas morfologi, fisiologis, dan metabolisme tanaman, bahkan dapat menyebabkan kerusakan total (Srivastava *et al.*, 2021). Perkecambahan dan pertumbuhan kecambah merupakan sifat dasar baik pada tingkat individu maupun populasi tanaman, serta merupakan tahapan paling kritis penentu produktivitas dan sebagai kriteria penting untuk mengevaluasi toleransi tanaman terhadap berbagai cekaman termasuk logam berat (Oliviera, 2012; Swapna dan Rama Gopal, 2014; Bezini *et al.*, 2019). Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian tentang proses perkecambahan pada berbagai kondisi lingkungan termasuk cekaman logam berat.

Tagetes erecta merupakan salah satu jenis tanaman ornamental anggota famili Asteraceae yang berpotensi dikembangkan sebagai agen fitoremediasi (Coelho *et al.*, 2017; Liu *et al.*, 2018), karena sebagian besar spesies yang digunakan untuk tujuan fitoremediasi dari kelompok tanaman pangan kebanyakan dari famili Brassicaceae dan Fabaceae. Penggunaan *T. erecta* untuk meremediasi logam berat selain dapat membersihkan tanah, juga meningkatkan produktivitas secara ekonomi karena tanaman *T. erecta* dapat dipasarkan tanpa khawatir akan ancaman terkait konsumsi. Kemampuan *T. erecta* untuk tumbuh pada media mengandung polutan Cr telah dilaporkan diantaranya pada limbah industri buatan (Hemalatha *et al.*, 2014), limbah tekstil (Parihar dan Malaviya, 2015), limbah pelapisan logam (Chitraprabha dan Sathyavathi, 2018), limbah batik (Maryani *et al.*, 2019), dan tanah laterit tercemar logam berat (Madanan *et al.*, 2021). Perkecambahan merupakan fase kritis penentu kelangsungan hidup dan toleransi tanaman di lingkungan tercemar logam berat. Penelitian ini bertujuan mengetahui efek Cr^{6+} terhadap perkecambahan dan pertumbuhan kecambah *T. erecta*.

METODE PENELITIAN

Penyiapan Biji *T. erecta*

Biji *T. erecta* diperoleh dari petani pembibitan tanaman hias di daerah Kopeng, Kabupaten Semarang. Biji diseleksi untuk mendapatkan yang utuh dan berkembang penuh (bernas). Biji yang sudah diseleksi selanjutnya direndam dalam akuades selama satu malam sebelum dikecambahkan, dengan tujuan untuk mempercepat proses imbibisi dan perkecambahan.

Penyiapan Larutan Logam Berat Cr Heksavalen

Cr^{6+} yang digunakan dalam penelitian ini adalah kromat (CrO_4) dalam bentuk senyawa K_2CrO_4 (Merck). Pembuatan larutan perlakuan dengan cara menimbang senyawa K_2CrO_4 dan hanya menghitung konsentrasi Cr^{6+} disesuaikan dengan konsentrasi tiap perlakuannya. Empat perlakuan Cr^{6+} dibuat melalui pengenceran larutan stok K_2CrO_4 dengan konsentrasi 100 mg/l yang

dibuat sebanyak 1 liter dalam akuades. Konsentrasi Cr^{6+} yang digunakan sebagai perlakuan adalah 0 (kontrol), 5, 25, dan 50 mg Cr/L.

Uji Perkecambahan Biji *T. erecta*

Pengujian perkecambahan dan pertumbuhan kecambah dilakukan secara eksperimental menggunakan rancangan acak lengkap dengan 4 perlakuan konsentrasi Cr^{6+} . Sebanyak 10 biji *T. erecta* ditempatkan secara merata dalam cawan petri berdiameter 9 cm yang telah dialasi dengan kertas merang dan dibasahi dengan larutan Cr^{6+} untuk masing-masing perlakuan dan akuades sebagai perlakuan kontrol. Setiap perlakuan dengan 10 ulangan. Perkecambahan dicatat selama 10 hari, biji dianggap berkecambah bila radikula telah tumbuh memanjang minimal 2 mm terlihat dengan mata telanjang (Panuccio et al., 2014).

Pengamatan Parameter

Parameter perkecambahan yang diamati setiap hari adalah banyaknya jumlah biji yang berkecambah selama 10 hari. Pertumbuhan kecambah meliputi panjang radikula dan panjang epikotil, dan bobot kering kecambah ditentukan pada akhir pengamatan perkecambahan. Jumlah biji yang berkecambah per hari dan pertumbuhan kecambah di akhir pengamatan digunakan untuk menentukan persentase perkecambahan dan indeks vigor kecambah (SVI, *Seedling Vigor Index*) dengan rumus sebagai berikut:

Persentase perkecambahan (PKC) = $\frac{\sum Bk}{\sum TB} \times 100$ (Talukdar, 2011)

SVI = PKC x PjK (Amin et al., 2013)

Keterangan: $\sum Bk$ = jumlah biji berkecambah, $\sum TB$ = jumlah total biji, PjK= panjang kecambah (cm)

Analisis Data

Data yang diamati dianalisis statistik dengan analisis sidik ragam satu arah (*one-way ANOVA*) dan diuji lanjut dengan uji Tukey (*Tukey's Studentized Range (HSD) 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

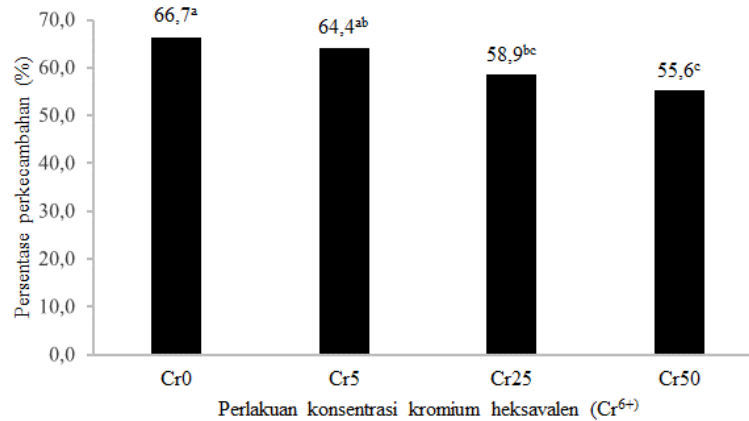
Efek Cr^{6+} Terhadap Perkecambahan Biji dan Vigor Kecambah *T. erecta*

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan Cr^{6+} dalam bentuk kromat memberikan efek toksik terhadap perkecambahan biji *T. erecta*. Semua perlakuan konsentrasi Cr^{6+} (5, 25 dan 50 mg/L) secara signifikan menurunkan parameter perkecambahan yang diukur. Menurut Kadukova et al. (2015) uji perkecambahan merupakan prosedur dasar untuk menguji efek toksik logam berat pada tanaman. Perkecambahan biji merupakan tahap pertama pertumbuhan tanaman yang berhadapan langsung dengan media tempat hidupnya dan fase paling sensitif terhadap perubahan lingkungan (Solanki dan Dhankhar, 2011).

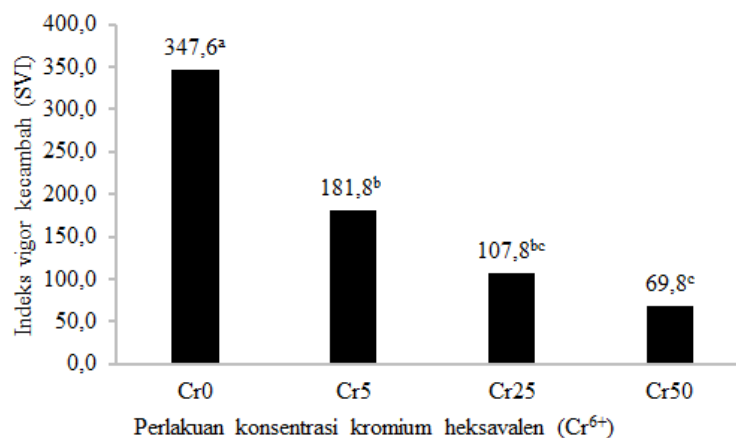
Perlakuan Cr^{6+} dengan konsentrasi 5, 25 dan 50 mg/L menyebabkan penurunan persentase perkecambahan di akhir penelitian secara signifikan ($p < 0,05$) (**Gambar 1**). Besarnya penurunan persentase perkecambahan tergantung pada konsentrasi Cr dalam media perkecambahan, semakin tinggi konsentrasi Cr^{6+} yang diberikan menurunkan persentase perkecambahan lebih tinggi dibanding perlakuan kontrol. Biji pada perlakuan kontrol menunjukkan persentase perkecambahan paling besar (66,7%), sedangkan pada perlakuan Cr^{6+} 5 mg/L, 25 mg/L dan 50 mg/L berturut-turut sebesar 64,4%, 58,9% dan 55,6%. Terjadinya penghambatan perkecambahan biji *T. erecta* pada perlakuan Cr^{6+} ini menunjukkan bahwa biji *T. erecta* sensitif terhadap Cr^{6+} pada konsentrasi tinggi. Logam berat memiliki efek negatif terhadap perkecambahan biji dan perkembangan kecambah. Penurunan perkecambahan terjadi karena adanya penghambatan aktivitas fisiologis dan metabolisme kecambah. Menurut Srivastava et al. (2021) kemampuan tumbuhan dalam mentoleransi toksisitas Cr ditentukan oleh kemampuannya dalam mempertahankan perkecambahan bijinya pada lingkungan terkontaminasi Cr. Cr telah dilaporkan menghambat perkecambahan pada beberapa tanaman, di antaranya menghambat perkecambahan biji *Sorghum bicolor* pada perlakuan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ dan K_2CrO_4 pada konsentrasi 50 dan 500 mg/L (Kasmiyati et al., 2015), perkecambahan biji

Cucumis melo pada perlakuan Cr^{3+} dengan konsentrasi lebih besar dari 10 mg/L dalam media kultur perkecambahan biji *Lactuca sativa* dan *Beta vulgaris* pada perlakuan CrCl_3 sebesar 25, 35 dan 50 $\mu\text{M/L}$ (Bautista *et al.*, 2013), perkecambahan biji

Hibiscus esculentus pada perlakuan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ sebesar 50 dan 100 mg/kg media tanah (Amin *et al.*, 2013), dan perkecambahan biji *Triticum aestivum* pada konsentrasi Cr^{6+} lebih dari 25 mg/L dalam larutan media (Riaz *et al.*, 2019).



Gambar 1. Persentase perkecambahan biji *T. erecta* di akhir penelitian pada perlakuan Cr^{6+} (K_2CrO_4) dengan konsentrasi 5 mg/L (Cr5), 25 mg/L (Cr25), 50 mg/L (Cr50) serta perlakuan kontrol (Cr0).



Gambar 2. Indeks vigor kecambah (SVI) biji *T. erecta* di akhir penelitian pada perlakuan Cr^{6+} (K_2CrO_4) dengan konsentrasi 5 mg/L (Cr5), 25 mg/L (Cr25), 50 mg/L (Cr50) serta perlakuan kontrol (Cr0).

Indeks vigor kecambah (SVI) *T. erecta* kontrol menunjukkan nilai paling tinggi (347,6). Nilai indeks vigor kecambah mengalami penurunan secara signifikan pada perlakuan Cr^{6+} , dan penurunan tertinggi ditunjukkan pada perlakuan Cr^{6+} 50 mg/L dengan nilai indeks vigor mencapai 69,8. Hasil yang sama dilaporkan oleh Amin *et al.* (2013) bahwa perlakuan Cr^{6+} ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 0,5–100 mg/kg tanah menurunkan indeks vigor kecambah (SVI) pada biji *Hibiscus esculentus* dibandingkan kontrol. Penurunan nilai indeks vigor akibat perlakuan Cr^{6+} disebabkan toksisitas Cr pada

sumbu embrionik, penghambatan pembelahan dan/atau pemanjangan sel yang dapat menghambat penonjolan keluar radikula untuk berkecambah (Ranal *et al.*, 2016)

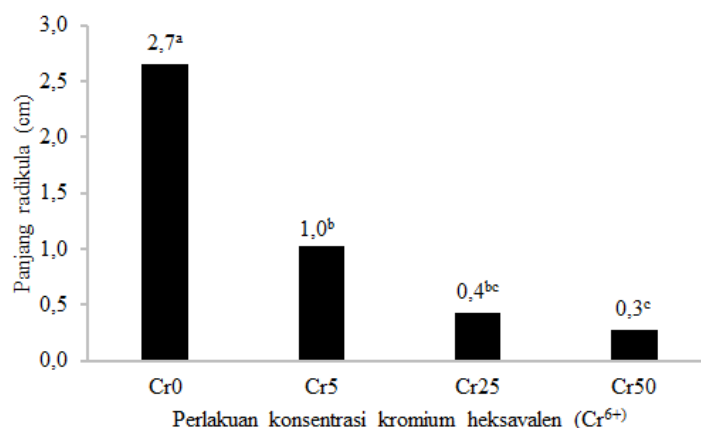
Efek Cr^{6+} terhadap pertumbuhan kecambah *T. erecta*

Penghambatan pertumbuhan radikula (Gambar 3) dan epikotil (Gambar 4) paling besar ditunjukkan pada perlakuan Cr^{6+} 50 mg/L dengan panjang radikula dan epikotil masing-masing

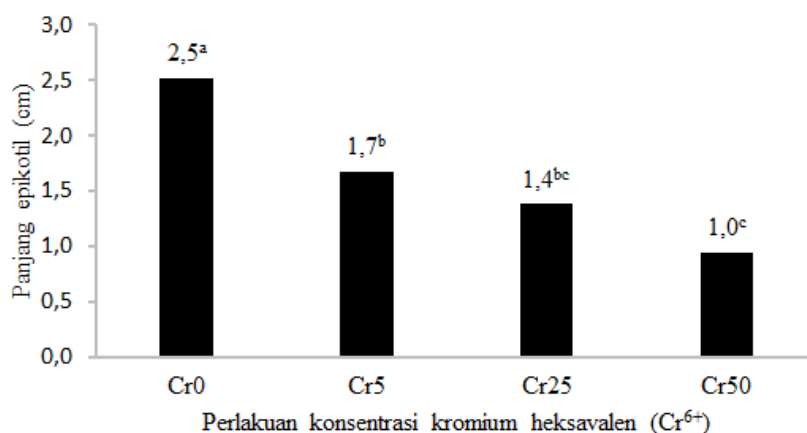
berturut-turut sebesar 0,3 cm dan 1,0 cm dan berbeda secara signifikan dibandingkan kontrol yang masing-masing mencapai 2,7 cm dan 2,5 cm. Kecambah *T. erecta* yang tumbuh pada media perkecambahan dengan diberi perlakuan Cr^{6+} konsentrasi 5, 25 dan 50 mg/L menunjukkan pertumbuhan radikula dan epikotil yang lebih pendek dan tebal dibandingkan kontrol.

Kecambah *T. erecta* yang tumbuh pada media dengan perlakuan Cr^{6+} 25 dan 50 mg/L mengalami penghambatan pertumbuhan radikula paling besar dibanding Cr^{6+} 5 mg/L (Gambar 5). Pertumbuhan epikotil kecambah *T. erecta* pada perlakuan Cr^{6+} menunjukkan penghambatan lebih kecil dibandingkan penghambatan pertumbuhan radikula. Meskipun perlakuan Cr^{6+} secara signifikan menghambat pertumbuhan radikula, namun bagian epikotil/tunasnya masih dapat

tumbuh dan tidak mengalami kematian pada perlakuan Cr^{6+} konsentrasi 50 mg/L. Logam Cr di dalam media perkecambahan menghambat pertumbuhan kecambah terutama di bagian radikulanya. Cr^{6+} merupakan logam toksik yang menyebabkan terhambatnya pembelahan dan pemanjangan sel terutama di bagian radikula. Cr^{6+} yang terserap oleh radikula akan menghambat pertumbuhan akar primer melalui penghambatan pembelahan dan pemanjangan sel pada bagian meristem apikal akar (Wakeel *et al.*, 2018). Penghambatan panjang akar dan pucuk akibat perlakuan Cr^{6+} berbagai konsentrasi juga dilaporkan pada kecambah *Hibiscus esculentus*, dan penghambatan paling besar terjadi pada konsentrasi Cr^{6+} 50 mg/kg tanah, sedangkan pada perlakuan Cr^{6+} 100 mg/kg tanah menyebabkan kematian semua kecambah (Amin *et al.*, 2013)



Gambar 3. Panjang radikula kecambah *T. erecta* di akhir penelitian pada perlakuan Cr^{6+} (K_2CrO_4) dengan konsentrasi 5 mg/L (Cr5), 25 mg/L (Cr25), 50 mg/L (Cr50) serta perlakuan kontrol (Cr0).



Gambar 4. Panjang epikotil kecambah *T. erecta* di akhir penelitian pada perlakuan Cr^{6+} (K_2CrO_4) dengan konsentrasi 5 mg/L (Cr5), 25 mg/L (Cr25), 50 mg/L (Cr50) serta perlakuan kontrol (Cr0).

Gambar 5 menunjukkan efek Cr^{6+} terhadap penghambatan pembentukan dan pemanjangan radikula pada kecambah *T. erecta*. Selain panjang radikula, perlakuan Cr^{6+} juga mempengaruhi pembentukan akar lateral atau akar cabang pada kecambah. Kecambah perlakuan kontrol belum menunjukkan adanya pembentukan akar lateral, namun pada kecambah dengan perlakuan Cr^{6+} 5 dan 25 mg/L menunjukkan adanya pembentukan akar lateral. Akar lateral paling banyak terbentuk pada kecambah dengan perlakuan Cr^{6+} 5 mg/L. Radikula kecambah pada perlakuan Cr^{6+} 50 mg/L menunjukkan penghambatan pertumbuhan paling besar, bagian pangkal akar berwarna coklat dan tidak membentuk akar lateral. Kromium dilaporkan

mempengaruhi pertumbuhan dan jumlah akar sekunder, perkembangan akar lateral, rambut akar dan pembentukan akar adventif (Lopez-Bucio *et al.*, 2015). Penurunan panjang akar disertai terjadinya pencoklatan akar dan berkurangnya jumlah rambut akar dilaporkan terjadi pada *Zea mays* yang diberi perlakuan Cr^{6+} konsentrasi tinggi (Shahid *et al.*, 2017). Penghambatan pertumbuhan akar akibat cekaman Cr^{6+} pada *Amaranthus viridis* dan *Arabidopsis thaliana* disebabkan oleh terjadinya penghambatan pembelahan sel, pengurangan ukuran sel pada zona pemanjangan, penurunan aktivitas gen pengatur siklus sel, serta perubahan ultrastruktur seluler (Wakeel *et al.*, 2018).



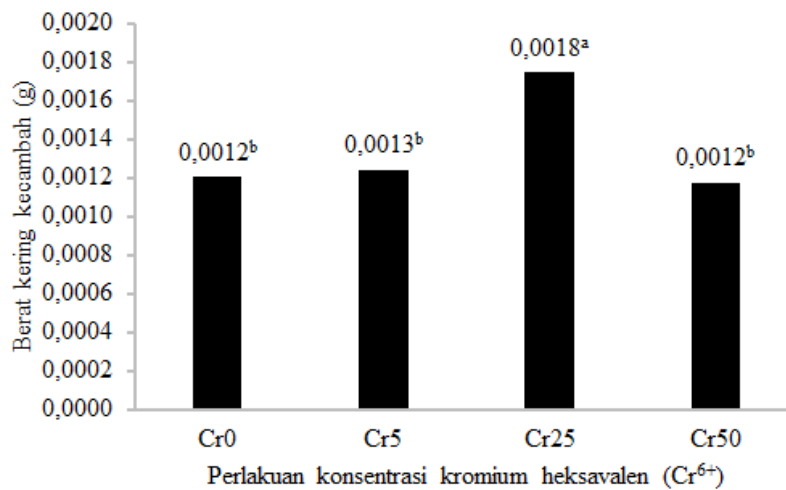
Gambar 5. Pertumbuhan kecambah *T. erecta* di akhir penelitian pada perlakuan Cr^{6+} (K_2CrO_4) dengan konsentrasi 5 mg/L, 25 mg/L, 50 mg/L serta kontrol. Tanda panah menunjukkan bagian akar lateral.

Cr^{6+} mempengaruhi secara signifikan bobot kering kecambah *T. erecta*. Bobot kering kecambah yang diberi perlakuan Cr^{6+} sebesar 25 mg/L mengalami peningkatan secara signifikan dibandingkan kontrol dan perlakuan Cr^{6+} 5 dan 50 mg/L. Gambar 6 menunjukkan bahwa bobot kering kecambah pada perlakuan Cr^{6+} 25 mg/L menunjukkan peningkatan tertinggi mencapai sebesar 0,0018 g, sedangkan bobot kering kontrol, perlakuan Cr^{6+} 5 dan 50 mg/L tidak berbeda nyata, berturut-turut sebesar 0,0012 g, 0,0013 g dan 0,0012 g. Kecambah *T. erecta* pada perlakuan Cr^{6+} 25 mg/L memiliki biomassa tertinggi. Hasil ini menunjukkan bahwa pada konsentrasi Cr^{6+} 25 mg/L, meskipun radikula dan epikotilnya mengalami penurunan, namun pertumbuhan

diameter epikotil atau bagian pucuk (batang) dan radikulanya lebih besar dan lebih tebal dibanding kontrol dan perlakuan Cr^{6+} 5 dan 50 mg/L, sehingga mendukung lebih besarnya bobot kering kecambah pada perlakuan ini (Gambar 5 dan Gambar 6). Biomassa tumbuhan dan kecambah dipengaruhi oleh paparan logam berat termasuk Cr, karena cekaman logam berat akan memberikan dampak merugikan atau menghambat proses biokimia dan fisiologis, sedangkan tumbuhan yang berada pada kondisi cekaman logam berat membutuhkan materi pembentuk tubuh (*building block*) dan hasil asimilasi dalam jumlah yang tinggi (Bhalerao & Sharma, 2015; Srivastava *et al.*, 2021). Kecambah *T. erecta* yang tidak mengalami penurunan biomassa pada perlakuan Cr^{6+} hingga 50 mg/L ini

menunjukkan kemampuan *T. erecta* dalam mentoleransi toksisitas Cr. Hasil ini dapat mendukung pengembangan potensi dan

pemanfaatan *T. erecta* sebagai agen fitoremediasi Cr.



Gambar 6. Bobot kering kecambah *T. erecta* di akhir penelitian pada perlakuan Cr⁶⁺ (K₂CrO₄) dengan konsentrasi 5 mg/L (Cr5), 25 mg/L (Cr25), 50 mg/L (Cr50) serta perlakuan kontrol (Cr0).

KESIMPULAN

Adanya Cr⁶⁺ di dalam media perkecambahan menunjukkan efek penghambatan secara signifikan terhadap perkecambahan biji dan pertumbuhan kecambah *T. erecta*. Efek penghambatan terhadap persentase perkecambahan, indeks vigor kecambah, panjang radikula, panjang epikotil, dan berat basah kecambah *T. erecta* paling besar dijumpai pada perlakuan Cr⁶⁺ tertinggi. Pertumbuhan diameter epikotil dan radikula mengalami pembesaran dan penebalan pada perlakuan Cr⁶⁺ sebesar 25 mg/L dan meningkatkan secara signifikan bobot basah dan kering kecambah *T. erecta*.

DAFTAR PUSTAKA

Amin, H., Arain, B.A., Amin, F., & Surhio, M.A. (2013). Phytotoxicity of chromium on germination, growth and biochemical attributes of *Hibiscus esculentus* L. *American Journal of Plant Sciences*, 4, 2431-2439. <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2013.412302>

Bautista, O.V., Fischer, G., & Cardenas, J.F. (2013). Cadmium and chromium effects on seed germination and root elongation in lettuce, spinach and Swiss chard. *Agronomia Colombiana*, 31(1), 48-57. <http://www.revistas.unal.edu.co/index>.

Bhalerao, S.A., & Sharma, A.S. (2015). Chromium: as an environmental pollutant. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 4(4), 732-746. [https://www.ijcmas.com/vol-4-4/SatishA.Bhalerao and Amit S.Sharma.pdf](https://www.ijcmas.com/vol-4-4/SatishA.Bhalerao%20and%20AmitS.Sharma.pdf)

Bezini, E., Abdelguerfi, A., Nedjimi, B., Touati, M., Adli, B., & Yabrir, B. (2019). Effect of some heavy metals on seed germination of *Medicago arborea* L. (Fabaceae). *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 84(4), 357-364. <https://hrcak.srce.hr/file/332899>

Chitraprabha, K., & Sathyavathi, S. (2018). Phytoextraction of chromium from electroplating effluent by *Tagetes erecta* (L.). *Sustainable Environment Research*, 128(3), 128-134. <https://doi.org/10.1016/j.serj.2018.01.002>

Coelho, L.C., Bastos, A.R.B., Pinho, P.J., Souza, G.A., Carvalho, J.G., Coelho, V.A.T., Oliveira, L.C.A., Domingues, R.R., & Faquin, V. (2017). Marigold (*Tagetes erecta*): the potential value in phytoremediation of chromium. *Pedosphere*, 27(3), 559-568. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60351-5](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60351-5)

Coetzee, J.J., Bansal, N., & Chirwa, E.M.N. (2020). Chromium in environment, its toxic effect from chromite mining and ferrochrome industries, and its possible bioremediation. *Exposure and Health*, 12(1), 51-56.

- <https://link.springer.com/article/10.1007/s12403-018-0284-z>
- Hemalatha, G., Sujitha, S., & Pavithra, G.S. (2014). Studies on reduction and removal of hexavalent chromium in industrial waste water by *Alternanthera sessilis* and *Tagetes erecta*. *BioTechnology an Indian Journal*, 9(4), 147-152. <https://www.tsijournals.com/articles/studies-on-reduction-and-removal-of-hexavalent-chromium-in-industrial-waste-water-by-alternanthera-sessilis-and-tagetes-.pdf>
- Kasmiyati, S., Santosa, Priyambada, I.D., Dewi, K., & Sandradewi, R. (2015). Perkecambahan biji dan pertumbuhan kecambah varietas sorgum (*Sorghum bicolor* L.) pada cekaman krom heksavalen. *Bioma: Berkala Ilmiah Biologi*, 7 (1), 41-54. <https://doi.org/10.14710/bioma.17.1.41-54>
- Kadukova J., Ovelgosova O., Mrazíkova A., Marcincakova R., & Tkacova E. (2015). Assessment of biologically synthesized Ag nanoparticles toxicity against *E. coli*, *Staphylococcus aureus*, *Parachlorella kessleri* and *Sinapis alba*. *Nova Biotechnologica et Chimica*, 14, 69-77. <https://doi.org/10.1515/nbec-2015-0016>
- Lopez-Bucio, J., Ortiz-Castro, R., Ruiz-Herrera, L.F., Juarez, C.V., Hernandez-Madrigal, F., Carreon-Abud, Y., & Martinez-Trujillo, M. (2015). Chromate induces adventitious root formation via auxin signalling and SOLITARY-ROOT/IAA14 gene function in *Arabidopsis thaliana*. *Biomaterials*, 28, 353–365. <https://doi.org/10.1007/s10534-015-9838-8>
- Liu, J., Xin, X., & Zhou, Q. (2018). Phytoremediation of contaminated soils using ornamental plants. *Environmental Review*, 26: 43–54. [dx.doi.org/10.1139/er-2017-0022](https://doi.org/10.1139/er-2017-0022)
- Maryani, Amalia, N.N., & Agustina, T. (2020). Batik liquid waste inhibited germination and degraded root tissues of *Tagetes erecta* L. and *Zinnia violacea* Cav. *AIP Conference Proceedings*, 2260(1), 1-7. <https://doi.org/10.1063/5.0015766>
- Madanan, M.T., Shah, I.K., Varghese, G.K., & Kaushal, R.K. (2021). Application of aztec marigold (*Tagetes erecta* L.) for phytoremediation of heavy metal polluted lateritic soil. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 3, 17-22. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enceco.2020.10.07>
- Oliveira, H. (2012) Chromium as an environmental pollutant: insights on induced plant toxicity. *Journal of Botany*, 2012, 1-7. <http://doi.org/10.1155/2012/375843>
- Panuccio, M.R., Jacobsen, S.E., Akhtar S.S., & Muscolo, A. (2014). Effect of saline water on seed germination and early seedling growth of the halophyte quinoa. *AoB Plants*, 6, 1-18. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plu047>
- Parihar, A., & Malaviya, P. (2015). Effect of textile effluent on the growth and pigment content of *Tagetes erecta* L. (var. Pusa Basanti). *Indian Journal of Applied Research*, 5(5), 1-3. <https://doi.org/10.36106/ijar>
- Ranal, M.A., Mendes-Rodrigues, C., Teixeira, W.F., Oliveira, A.P., & Romero, R. (2016). Seed germination of *Microlizia fasciculata*, an apomictic and aluminium accumulator species: Unexpected intraspecific variability in a restricted Neotropical savanna area. *Flora*, 220, 8-16. <http://dx.doi.org/10.1016/j.flora.2016.02.001>
- Riaz, M., Yasmeen, T., Arif, M.S., Ashraf, M.A., Hussain, Q., Shahzad, S.M., Rizwan, M., Mehmood, M.W., Zia, A., Mian, I.A., & Fahad, S. (2019). Variations in morphological and physiological traits of wheat regulated by chromium species in long-term tannery effluent irrigated soils. *Chemosphere*, 222, 891–903. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.01.170>
- Shahid, M., Shamshad, S., Rafiq, M., Khalid, S., Bibi, I., Niazi, N.K., Dumat, C., & Rashid, M.I. (2017). Chromium speciation, bioavailability, uptake, toxicity and detoxification in soil-plant system: A review. *Chemosphere*, 178, 513–533. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.03.074>
- Shadreck, M. & Mugadza, T. (2013). Chromium, an essential nutrient and pollutant: a review. *African Journal of Pure and Applied Chemistry*, 7(9), 310-317. <https://doi.org/10.5897/AJPAC2013.0517>
- Swapna B., & Rama Gopal G. (2014). Interactive effects between water stress and heavy metals on seed germination and seedling growth of two green gram (*Vigna radiata* L. Wilczek) Cultivars. *Biolife*, 2(1), 291-296. http://biolifejournals.com/pdffiles/cimg090104_266%20SWAPNA%20291-296.pdf
- Singh, H.P., Mahajan, P., Kaur, S., Batish, D.R., & Kohli, R.K. (2013). Chromium toxicity and

- tolerance in plants. *Environmental Chemistry Letters*, 11, 229-254. <https://doi.org/10.1007/s10311-013-0407-5>
- Singh, D., Sharma, N.L., Singh, C.K., Sarkar, S.K., Singh, I., & Dotaniya, M.L. (2020). Effect of chromium (VI) toxicity on morphophysiological characteristics, yield, and yield components of two chickpea (*Cicer arietinum* L.) varieties. *PLoS ONE*, 15(12), e0243032. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243032>
- Solanki R. & Dhankhar R. (2011). Biochemical changes and adaptive strategies of plants under heavy metal stress. *Biologia*, 66, 195-204. <https://doi.org/10.2478/s11756-011-0005-6>
- Sun, J., Luo, Y., Ye, J.; Li, C., & Shi, J. (2022). Chromium distribution, leachability and speciation in a chrome plating site. *Processes*, 10, 142. <https://doi.org/10.3390/pr1001014>
- Srivastava, D., Tiwari, M., Dutta, P., Singh, P., Chawda, K., Kumari, M., & Chakrabarty, D. (2021). Chromium stress in plants: toxicity, tolerance and phytoremediation. *Sustainability*, 13, 4629. <https://doi.org/10.3390/su13094629>
- Talukdar, D. (2011). Effect of arsenic-induced toxicity on morphological traits of *Trigonella foenum-graecum* L. and *Lathyrus sativus* L. during germination and early seedling growth. *Current Research Journal of Biological Sciences*, 3(2), 116-123. <https://maxwellsci.com/print/crjbs/v3-116-123.pdf>
- Wakeel, A., Ali, I., Upreti, S., Azizullah, A., Liu, B., Khan, A.R., Huang, L., Wu, M., & Gan, Y. (2018). Ethylene mediates dichromate-induced inhibition of primary root growth by altering AUX1 expression and auxin accumulation in *Arabidopsis thaliana*. *Plant, Cell & Environment*, 41, 1453–1467. <https://doi.org/10.1111/pce.13174>
- Wakeel, A., & Xu, M. (2020). Chromium morpho-phytotoxicity. *Plants*, 9, 564. <https://doi.org/10.3390/plants9050564>