

FITOREMEDIASI TANAH PERTANIAN TERCEMAR KROMIUM (Cr) DENGAN TANAMAN HANJUANG (*Cordyline frucosa*)

I M. Siaka*, N. M. P. Wulantari, dan I W. Sudiarta

Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana, Jimbaran, Badung, Bali, Indonesia

*Email: made_siaka@unud.ac.id

ABSTRAK

Logam berat kromium merupakan bahan pencemar yang banyak ditemukan di dalam tanah pertanian dan sering mencemari tanaman yang hidup di atas tanah tersebut. Salah satu upaya yang bisa dilakukan untuk mengurangi kontaminasi logam berat seperti Cr pada tanah pertanian adalah dengan fitoremediasi. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efektivitas tanaman hanjuang (*Cordyline frucosa*) dalam menurunkan kandungan logam Cr dalam tanah tercemar dengan menentukan jumlah logam Cr yang bersifat *bioavailable* dan mengetahui nilai *bioconcentration factor* (BCF) dan *translocation factor* (TF) pada tanah tersebut. Metode yang digunakan adalah fitoremediasi dengan menanam tanaman hanjuang pada tanah pertanian yang tercemar logam Cr. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efektivitas penyerapan Cr oleh tanaman hanjuang yang meremediasi selama 21, 42, dan 63 hari berturut-turut sebesar 33,28 %; 45,88 % dan 54,39 %. Ini berarti bahwa semakin lama tanaman hanjuang meremediasi tanah tercemar, semakin efektif tanaman tersebut menyerap Cr. Kandungan logam Cr total dalam tanah yang diremediasi selama 21, 42, dan 63 hari berturut-turut sebesar $102,9361 \pm 0,2512$ mg/kg; $102,5798 \pm 3,5173$ mg/kg dan $103,5032 \pm 0,0149$ mg/kg sebelum ditanami hanjuang dan $67,6099 \pm 0,8291$ mg/kg; $50,9033 \pm 0,8633$ mg/kg dan $43,9568 \pm 5,3452$ mg/kg saat panen hanjuang. Nilai *bioconcentration factor* (BCF) logam Cr < 1 yakni bersifat *excluder* dan nilai TF (*Transport Faktor*) > 1 yang artinya tanaman ini mampu melakukan fitoekstraksi terhadap logam Cr. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa tanaman hanjuang cukup efektif dalam menyerap logam Cr dengan waktu remediasi lebih lama karena pada waktu remediasi 63 hari nilai efektivitasnya melebihi 50 %.

Kata kunci: fitoremediasi, logam berat Cr, tanah tercemar, tanaman hanjuang

ABSTRACT

The heavy metal chromium is a pollutant that is often found in agricultural soil and often contaminates the plants that grow on the soil. One effort that can be made to reduce heavy metal contamination such as Cr in agricultural soil is phytoremediation. This research aimed to determine the effectiveness of the hanjuang plant (*Cordyline frucosa*) in reducing the Cr content in polluted soil by determining the concentration of bioavailable Cr and the values of the bioconcentration factor (BCF) and translocation factor (TF) of the plant. The method used was phytoremediation by planting hanjuang plants on agricultural soil contaminated with Cr metal. The results showed that the effectiveness of Cr absorption by hanjuang plants that remediated for 21, 42, and 63 days was 33.28%; 45.88 %, and 54.39 %, respectively. This means that the longer hanjuang plants remediate polluted soil, the more effectively they absorb Cr. The total Cr content in soil remediated for 21, 42, and 63 days was 102.9361 ± 0.2512 mg/kg; 102.5798 ± 3.5173 mg/kg and 103.5032 ± 0.0149 mg/kg, respectively before planting and 67.6099 ± 0.8291 mg/kg; 50.9033 ± 0.8633 mg/kg and 43.9568 ± 5.3452 mg/kg, respectively at after hanjuang harvest. The bioconcentration factor (BCF) value for Cr metal was < 1, meaning it is an excluder and the TF (Transport Factor) value was > 1, which means this plant is phytoextraction in absorbing Cr metal. Thus, it can be concluded that the hanjuang plant is effective in absorbing Cr metal with a longer remediation time because, at a remediation time of 63 days, the effectiveness value exceeds 50%.

Keywords: chromium, heavy metal, phytoremediation, polluted soil, hanjuang plants

PENDAHULUAN

Tanah merupakan salah satu sumber daya alam yang terpenting bagi kehidupan makhluk hidup dan masih dimanfaatkan oleh manusia

dalam menunjang keseharian hidup mereka. Salah satu kegiatan yang memanfaatkan penggunaan tanah ialah pertanian, dimana tanah merupakan sumber utama dalam bidang pertanian. Seperti diketahui bahwa kegiatan

pertanian ini pasti tidak lepas dari adanya suatu pencemaran tanah. Pencemaran tanah merupakan suatu kondisi di mana bahan kimia yang merupakan salah satu produk samping dari aktivitas buatan manusia masuk dan merubah lingkungan tanah alami (Supriatna *et al.*, 2021). Terdapat banyak bahan pencemar yang membahayakan kondisi lingkungan, salah satunya adalah logam berat. Logam berat merupakan bahan pencemar yang sangat berbahaya bagi lingkungan. Pada tanah pertanian, cemaran logam berat dapat berasal dari penggunaan bahan agrokimia seperti pupuk dan pestisida, bahan bakar minyak, asap kendaraan bermotor, buangan limbah yang berasal dari industri, rumah tangga, dan pertambangan (Rosihan dan husaini, 2017). Hal ini menyebabkan kondisi tanah pertanian tidak sehat dan akan menjadi masalah pada lingkungan dan tanaman yang tumbuh di atasnya.

Pencemaran akibat logam berat seperti kromium (Cr) sangat sering terjadi yang bersumber dari penggunaan pupuk, pestisida dan limbah industri seperti industri cat dan warna tekstil, industri penyamakan kulit dan industri pelapisan logam. Dalam pupuk posfat terkandung Cr sebesar 66-245 mg/kg. Penggunaan pupuk dalam jumlah yang besar secara terus menerus serta dalam kurun waktu yang relatif lama bisa mengancam kehidupan lingkungan tersebut (Awaluddin dan Tangahu, 2021). Selain dalam pupuk, pada penelitian Purnama (2022) ditemukan kandungan Cr pada tanah pertanian di sekitar kawasan industri Kabupaten Bandung, tepatnya di Kecamatan Margaasih sebesar 118,65 mg/kg. Hal tersebut menandakan bahwa tanah sudah tergolong tercemar. Sumber pencemaran tanah pertanian tidak hanya berasal dari penggunaan pestisida dan pupuk saja namun juga dari kegiatan industri karena logam berat dapat masuk ke lahan pertanian melalui distribusi aliran air dari proses pembuangan limbah industri ke badan air. Aliran air tersebut akan membawa, memindahkan, dan menyebarkan logam berat ke lahan pertanian baik melalui aliran permukaan dan aliran bawah (Laoli *et al.*, 2022).

Pencemaran lingkungan, khususnya pencemaran pada tanah, perlu dilakukan suatu upaya yang bertujuan untuk memulihkan kembali kondisi tanah yang sudah dalam kategori tercemar agar dapat dimanfaatkan kembali dengan aman. Salah satunya adalah

remediasi dengan cara melakukan penanaman suatu tanaman yang memiliki kemampuan dalam menyerap logam berat dari tanah yang disebut sebagai fitoremediasi. Fitoremediasi merupakan salah satu cara dalam mengurangi atau memperbaiki kerusakan tanah akibat tingginya persentase akumulasi logam berat dengan menggunakan tanaman yang mampu menyerap logam berat (Novie *et al.*, 2019). Salah satu tanaman yang bisa dijadikan agen fitoremediator adalah tanaman hanjuang.

Hanjuang (*Cordyline fruticosa*) yang umumnya dikenal dengan tanaman andong ini termasuk jenis tanaman hias yang biasanya ditemukan di taman-taman atau jalan raya dan memiliki warna merah atau hijau (Nelis *et al.*, 2020). Studi terkait kemampuan tanaman hanjuang dalam menyerap dan mengakumulasi logam berat ditunjukkan pada penelitian yang dilakukan oleh Nelis *et al.* (2020) dan Novie *et al.* (2019). Penelitian Nelis *et al.* (2020) menunjukkan bahwa efisiensi penyerapan logam Pb oleh tanaman hanjuang sebesar 63,69 % dan Novie *et al.* (2019) melaporkan efisiensi penyerapan logam Cd oleh tanaman hanjuang sebesar 31,46 %. Sementara itu, fitoremediasi Cr oleh tanaman hanjuang belum ada penelitiannya, maka dilakukan penelitian untuk mengeksplorasi kemampuan tanaman hanjuang sebagai fitoremediator tanah tercemar logam kromium (Cr).

MATERI DAN METODE

Bahan

Bahan yang digunakan yaitu sampel tanah pertanian yang diambil dari daerah Tejakula, Kab. Buleleng, Bali dan tanaman hanjuang merah (*Cordyline fruticosa*). Bahan-bahan kimia yang digunakan meliputi $K_2Cr_2O_7$ (CP), HCl 37%, HNO_3 65%, CH_3COOH 100%, H_2O_2 30%, dan aquades.

Peralatan

Alat yang digunakan yaitu peralatan gelas, ayakan 60 mesh, pipet tetes, neraca analitik, mortar, corong, oven, hot plate, pipet ukur, thermometer, stopwatch, statif, klem, kertas saring, spatula, sendok polietilen, polybag, plastik klip, *ultrasonic bath*, bola hisap, aluminium foil, shaker, alat sentrifugasi, botol semprot dan Spektrofotometer Serapan Atom Shimadzu AA-7000.

Cara Kerja

Rancangan dan Perlakuan Penelitian

Penelitian ini menggunakan rancangan penelitian secara eksperimental, pengamatan sebelum dan setelah perlakuan dengan melakukan tiga kali pengulangan. Sampel tanah pertanian dari Desa Tejakula, Buleleng diambil dan dicampur $K_2Cr_2O_7$ guna membuat tanah dalam kategori tercemar logam Cr, kemudian ke dalam polybag dimasukkan tanah tersebut. Setelah itu, tanah sebanyak 4 kg yang sudah tercampur Cr dengan tambahan konsentrasi Cr sebesar ± 100 mg/kg dimasukkan masing-masing ke dalam 9 buah polybag dan sebanyak 4 kg tanah yang tidak ditambah Cr (sebagai kontrol) dimasukkan masing-masing ke dalam 9 buah polybag lain. Tanah dengan tambahan logam Cr diberi nama sampel T+Cr-1, T+Cr-2, dan T+Cr-3, sementara tanah kontrol atau tanah tanpa penambahan Cr diberi nama T(K). Dilakukan tiga kali pengulangan pada masing-masing perlakuan. Setelah dilakukan penentuan konsentrasi Cr yang terkandung dalam tanah, dilakukan penanaman tanaman hanjuang.

Perlakuan Sampel Tanah

Tanah dengan dan tanpa pencemar Cr diambil sebagai sampel (sampling I) masing-masing sebanyak 50 g untuk penentuan konsentrasi Cr sebelum penanaman. Selanjutnya, dilakukan penanaman tanaman hanjuang pada setiap polybag yang dilabel dengan kode perlakuan. Setelah itu, dilakukan sampling yang kedua pada kelompok perlakuan sesuai usia remediasi yaitu saat tanaman sudah berusia 21, 42, dan 63 hari.

Penanaman dan Penyiraman

Pada penelitian ini, total tanaman yang dipergunakan sebanyak 18 batang dengan menggunakan variasi waktu panen yakni 21, 42 dan 63 hari, dengan 3 kali pengulangan. Sebelum digunakan, dilakukan pengujian konsentrasi Cr yang terkandung di dalam tanaman. Batang tanaman hanjung sepanjang 30cm - 40cm dipindahkan ke dalam polybag tanah tercemar. Masing-masing polybag ditanami 1 tanaman hanjuang. Semua polybag disirami air 1 kali sehari masing-masing sebanyak 300 mL air.

Preparasi Sampel Tanah

Sebanyak 50 g sampel tanah (tanah kontrol dan tercemar) sebelum penanaman dan sesudah panen diambil dari masing-masing

polybag dengan sendok polietilen yang bersih. Selanjutnya, dilakukan pengeringan sampel pada oven pada suhu $60^{\circ}C$ sampai massanya konstan (Siaka *et al.*, 2014). Setelah itu, sampel kering digerus dan diayak dengan ayakan 200 mesh. Sampel kemudian disimpan menggunakan plastik kering guna analisis selanjutnya.

Preparasi Sampel Tanaman

Sampel tanaman hanjuang yang telah meremediasi selama 21, 42 dan 63 hari diambil dan dipisahkan dari tanahnya lalu dibersihkan dengan air mengalir, dan dibilas dengan akuades. Selanjutnya, dipisahkan bagian akar, batang dan daunnya. Tahap berikutnya dikeringkan dalam oven pada $60^{\circ}C$ hingga massanya konstan (Siaka *et al.*, 2014). Setelah itu sampel digerus dan disimpan menggunakan plastik kering guna proses analisis selanjutnya.

Penentuan Kadar Logam Cr Bioavailable dalam Tanah

Sebanyak 1 g masing-masing sampel tanah (tanah kontrol dan tercemar) sebelum penanaman dan saat panen hanjuang ditimbang dan dimasukkan ke tabung ekstraksi, kemudian ditambah 40 mL CH_3COOH 0,1 mol/L. Selanjutnya, digojog selama 2 jam dengan penggojog listik (*shaker*). Larutan selanjutnya disentrifugasi selama 10 menit dengan kecepatan 4000 rpm. Setelah itu, didekantir dan supernatan yang diperoleh dituangkan ke dalam labu ukur 50 mL, lalu diencerkan sampai tanda batas dengan HNO_3 0,01 mol/L dan dihomogenkan. Tahap selanjutnya, absorbansi dari larutan tersebut diukur menggunakan AAS pada panjang gelombang 357,9 nm (Puspitasari *et al.*, 2022). Residu yang diperoleh disimpan guna ekstraksi berikutnya.

Penentuan Kadar Logam Cr Selain Bioavailable dalam Tanah

Masing-masing residu dari fraksi *bioavailable* dicuci dengan aquades 10 mL dan dilakukan penambahan larutan reverse aqua regia yakni campuran HNO_3 pekat dan HCl pekat (3:1) sebanyak 10 mL lalu ditutup menggunakan kaca arloji. Selanjutnya, dilakukan proses digesti dalam *ultrasonic bath* pada suhu $60^{\circ}C$ selama 45 menit, setelah itu dilakukan pemanasan kembali menggunakan *hotplate* pada suhu $140^{\circ}C$ selama 45 menit (Siaka *et al.*, 1998). Campuran selanjutnya disentrifugasi selama 10 menit dengan

kecepatan 4000 rpm. Setelah itu, dilakukan proses dekantasi pada supernatant yang diperoleh dan dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL. Hasil dekantasi tersebut diencerkan menggunakan aquades hingga tanda batas. Setelah itu, dilakukan pengukuran absorbansi pada larutan tersebut menggunakan AAS pada panjang gelombang 357,9 nm.

Penentuan Kadar Logam Cr Pada Sampel Tanaman

Masing-masing serbuk sampel tanaman hanjuang (akar, batang, dan daun) ditimbang teliti sebanyak 1 g lalu dimasukkan ke dalam gelas beaker 100 mL dan ditambahkan 10 mL larutan HNO₃ 65% serta ditutup menggunakan kaca arloji. Tahap berikutnya dilakukan pemasanan campuran tersebut pada suhu 80°C-90°C selama 90 menit menggunakan hotplate, lalu suhu dinaikkan menjadi 150°C. Selanjutnya, dilakukan penambahan HNO₃ 65% dan H₂O₂ 30% masing-masing sejumlah 6-10 mL hingga campuran mendidih dan larutan menjadi bening (Siaka *et al.*, 2016). Larutan kemudian didinginkan dan disaring dan filtrat yang diperoleh dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL dan diencerkan dengan aquades hingga tanda batas. Setelah itu, absorbansi larutan yang diperoleh menggunakan AAS pada panjang gelombang 357,9 nm.

Efektivitas Penyerapan Logam Cr

Penentuan efektivitas penyerapan logam Cr didasarkan pada persentase penurunan konsentrasi zat pencemar yang terkandung di dalam tanah, sistem remediasi dikatakan efektif jika nilai efektivitas penyerapannya di atas 50%. Efektivitas penyerapan Cr dapat diketahui berdasarkan perbandingan konsentrasi Cr yang terkandung dalam seluruh bagian tanaman dengan konsentrasi Cr yang bersifat *bioavailable* pada tanah sebelum dilakukan penanaman tanaman hanjuang (Nababan *et al.*, 2017).

$$\text{Efektivitas Penyerapan (\%)} = \frac{T}{T_b} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

T: Konsentrasi Cr dalam tanaman (mg/kg)

T_b: Konsentrasi Cr *bioavailable* pada tanah sebelum dilakukan penanaman hanjuang (mg/kg)

Faktor Biokonsentrasi (BCF)

Bioconcentration factor (BCF) adalah penentu besar kecilnya kemampuan penyerapan logam berat oleh tanaman dan mengakumulasi dari dalam tanah menuju seluruh bagian tanaman (Santana *et al.*, 2018).

$$\text{BCF} = \frac{\text{Konsentrasi Cr pada tanaman}}{\text{Konsentrasi Cr bioavailable pada tanah}} \quad (2)$$

Faktor Translokasi (TF)

Analisis faktor translokasi bertujuan untuk menentukan proses perpindahan logam Cr dari bagian akar menuju bagian daun (tajuk) dan ke bagian-bagian tanaman lainnya. Nilai faktor translokasi mempunyai kategori yakni: Jika nilai TF > 1, dinamakan proses fitoekstraksi, jika TF < 1, dinamakan proses fitostabilisasi (Santana *et al.*, 2018).

$$\text{TF} = \frac{\text{Konsentrasi Cr pada daun}}{\text{Konsentrasi Cr pada akar}} \quad (3)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kurva Kalibrasi Standar Cr

Penentuan konsentrasi logam Cr pada sampel tanah dan tanaman dilakukan dengan metode kurva kalibrasi. Kurva kalibrasi larutan Cr diperoleh dengan memplotkan antara absorbansi dan konsentrasi larutan standar sehingga didapatkan persamaan regresi liniernya. Persamaan inilah yang digunakan untuk menentukan konsentrasi Cr pada sampel. Konsentrasi (x) dan absorbansi (y) dimasukkan ke dalam program excel, sehingga diperoleh persamaan regresi linier logam Cr yaitu, $y = 0,1012x + 0,0140$ dengan nilai koefisien regresi (R²) sebesar 0,9984.

Konsentrasi Cr pada Sampel Tanah

Penentuan konsentrasi logam Cr yang diperoleh pada sampel tanah ditentukan menjadi dua spesies, yakni logam yang bersifat *bioavailable* dan selain *bioavailable* (logam yang berpotensi menjadi *bioavailable* dan *non bioavailable*). Penentuan ini bertujuan untuk menambah informasi spesies kimia dari logam tersebut berdasarkan jenis ikatan dan ketersediaannya di dalam tanah sehingga mampu diserap oleh tanaman hanjuang. Hasil pengukuran absorbansi dan perhitungan konsentrasi logam Cr yang bersifat *bioavailable* disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Konsentrasi Logam Cr *Bioavailable* Dalam Tanah

Perlakuan	S (mg/kg)	P (mg/kg)
T(K-1)	TD	TD
T(K-2)	TD	TD
T(K-3)	TD	TD
T+Cr-1	100,1693 ± 0,8732	65,5349 ± 6,3607
T+Cr-2	98,6331 ± 3,4035	49,3248 ± 0,8419
T+Cr-3	100,4282 ± 0,0755	43,0501 ± 5,2977

Keterangan: S = Tanah sebelum ditanami hanjuang; P = Tanah saat panen hanjuang; T(K) = Tanah kontrol (tanpa penambahan Cr); T+Cr = Tanah dengan penambahan Cr; 1, 2, dan 3 = masa panen hanjuang: 21, 42, dan 63 hari; TD = Tidak terdeteksi

Logam bersifat *bioavailable* yang sering disebut dengan logam pada fraksi EFLE (*Easily, Freely, Leachable, and Exchangeable*) atau *acid soluble phase* adalah logam dengan sifat ikatan yang lemah atau labil antara logam dan komponen lain dalam tanah. Logam dalam spesies ini bersifat mudah terionisasi, mudah larut dalam asam lemah atau air, dan biasanya berbentuk sebagai senyawa karbonat atau ion. Dari pemaparan sifat tersebut, dapat dikatakan bahwa spesies ini berbahaya bagi lingkungan karena dapat diserap oleh organisme jika melewati ambang batasnya (Sarkar *et al.*, 2014).

Berdasarkan Tabel 1, konsentrasi logam Cr yang bersifat *bioavailable* pada tanah dengan pencemar (T+Cr) telah berkurang setelah dilakukan fitoremediasi dengan tanaman hanjuang pada tanah tercemar Cr. Hal ini karena logam yang bersifat *bioavailable* adalah logam yang mudah terserap dan berpindah ke dalam tanaman yang tumbuh di tanah tersebut, sehingga logam-logam yang berada pada bagian tanaman, berasal dari logam yang bersifat *bioavailable* (Puspitasari *et al.*, 2022). Logam Cr pada spesies ini memiliki ikatan yang lemah dengan senyawa-senyawa yang terdapat dalam sedimen, sehingga logam ini mudah terlepas dengan tingkat mobilitas yang tinggi. Tingginya kelarutan dan mobilitas dari logam *bioavailable* akan mempermudah proses akumulasi logam ini dalam tanaman hanjuang (Setiawan *et al.*, 2023). Pada tanah kontrol, konsentrasi logam Cr yang bersifat *bioavailable* sangatlah kecil sehingga tidak terdeteksi oleh AAS.

Tabel 2. Konsentrasi Logam Cr Selain *Bioavailable* Dalam Tanah

Perlakuan	S (mg/kg)	P (mg/kg)
T(K-1)	2,6600 ± 0,1521	1,9817 ± 0,0653
T(K-2)	2,0522 ± 0,0225	1,2667 ± 0,0520
T(K-3)	2,1817 ± 0,1564	0,9816 ± 0,0801
T+Cr-1	2,7668 ± 0,0486	2,0750 ± 0,0624
T+Cr-2	3,9467 ± 0,1375	1,5785 ± 0,0993
T+Cr-3	3,0750 ± 0,0700	0,9067 ± 0,0493

Keterangan: S = Tanah sebelum ditanami hanjuang; P = Tanah saat panen hanjuang; T(K) = Tanah kontrol (tanpa penambahan Cr); T+Cr = Tanah dengan penambahan Cr; 1, 2, dan 3 = masa panen hanjuang: 21, 42, dan 63 hari

Logam yang bersifat selain *bioavailable* dapat berasal dari fraksi logam yang terikat atau berasosiasi dengan Fe/Mn oksida, logam terikat pada bahan organik, dan logam yang berikatan kuat dengan mineral-mineral primer yang terdapat pada tanah (Siaka *et al.*, 2021). Konsentrasi logam Cr yang bersifat selain *bioavailable* dapat dilihat pada Tabel 2. Pada tabel tersebut terlihat bahwa konsentrasi logam Cr dalam tanah kontrol (TK) dan tanah dengan pencemar (T+Cr) juga berkurang setelah dilakukan remediasi dengan tanaman hanjuang. Hal ini karena logam Cr yang semestinya berada pada fraksi berpotensi *bioavailable* menjadi logam *bioavailable*. Logam berpotensi *bioavailable* dapat menjadi *bioavailable* dalam tanah akibat dari proses reaksi reduksi oksidasi yang terjadi dalam tanah yang digunakan, dimana logam yang berasosiasi pada Fe/Mn oksida dalam kondisi potensial reduksi rendah menjadi tidak stabil, sementara dalam keadaan oksidasi logam yang terikat pada bahan organik menjadi mudah mengalami degradasi. Logam berpotensi *bioavailable* juga dapat menjadi *bioavailable* akibat eksudat-eksudat berupa asam yang terdapat pada akar yang dapat mengubah pH rhizosfer sehingga meningkatkan kelarutan logam dan menyebabkan logam menjadi *available* (Juhriah dan Mir, 2016). Akan tetapi, logam pada fraksi resisten tidak mungkin dapat berubah menjadi bersifat *available* dalam tanah atau tidak dapat tersedia dan berpindah ke bagian tanaman (Siaka *et al.*, 2021).

Dari kedua spesies tersebut, diperoleh konsentrasi total logam Cr dalam tanah yang disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Konsentrasi Total Logam Cr Dalam Tanah

Perlakuan	S (mg/kg)	P (mg/kg)
T(K-1)	2,6600 ± 0,1521	1,9817 ± 0,0653
T(K-2)	2,0522 ± 0,0225	1,2667 ± 0,0520
T(K-3)	2,1817 ± 0,1564	0,9816 ± 0,0801
T+Cr-1	102,9361 ± 0,2512	67,6099 ± 0,8291
T+Cr-2	102,5798 ± 3,5173	50,9033 ± 0,8633
T+Cr-3	103,5032 ± 0,0149	43,9568 ± 5,3452

Keterangan: S = Tanah sebelum ditanami hanjuang; P = Tanah saat panen hanjuang; T(K) = Tanah kontrol (tanpa penambahan Cr); T+Cr = Tanah dengan penambahan Cr; 1, 2, dan 3 = masa panen hanjuang: 21, 42, dan 63 hari

Tabel 3 menunjukkan bahwa perlakuan T(K) 1, 2, dan 3 yang merupakan tanah kontrol (tanpa penambahan Cr) sebelum ditanami hanjuang telah mengandung logam Cr berturut-turut sebesar 2,6600 ± 0,1521 mg/kg; 2,0522 ± 0,0225 mg/kg dan 2,1817 ± 0,1564 mg/kg. Adanya logam Cr di dalam tanah pertanian disebabkan oleh aktivitas manusia maupun aktivitas alam yang menghasilkan cemaran Cr dan selanjutnya berinteraksi dengan tanah.

Keberadaan logam Cr pada tanah yang digunakan tidak terlalu tinggi dan masih tergolong tidak tercemar yakni menurut Alloway (1995), tanah dikatakan tercemar jika konsentrasi Cr melewati batas kritis yakni sebesar 75 mg/kg. Oleh karena tanah sampel T(K) tergolong tidak tercemar, maka dari itu tanah harus dijadikan dalam kategori tanah yang tercemar dengan cara menambahkan pencemar ke dalam tanah guna mengetahui kemampuan tanaman hanjuang dalam meremediasi keadaan tanah yang tercemar Cr tersebut. Maka dari itu, penambahan Cr pada tanah dengan perlakuan T+Cr sebelum ditanami hanjuang konsentrasi Cr menjadi 102,9361-103,5032 mg/kg.

Pada Tabel 3, terlihat bahwa penurunan konsentrasi Cr dalam tanah meningkat seiring dengan lamanya masa remediasi oleh tanaman hanjuang. Hal ini dapat dilihat bahwa, pada masa remediasi 21 hari (T+Cr-1), konsentrasi Cr yang berkurang sebesar 35,3262 mg/kg, sedangkan pada remediasi 42 hari (T+Cr-2) konsentrasi Cr yang berkurang sebesar 51,6765 mg/kg dan sebesar 59,5464 mg/kg untuk masa remediasi 63 hari. Hal tersebut menandakan bahwa semakin lama tanaman berinteraksi dengan logam yang terkandung dalam tanah maka semakin banyak pula logam Cr yang

terserap sehingga semakin banyak pula konsentrasi Cr yang berkurang dalam tanah. Hasil tersebut memiliki kesamaan dengan penelitian yang dilakukan oleh Nelis (2020) yang melaporkan bahwa semakin lama masa remediasi, semakin logam Pb yang terserap. Hingga kini belum ada peneliti yang melaporkan waktu optimum remediasi untuk mendapatkan konsentrasi maksimum yang diserap oleh tanaman hanjuang

Konsentrasi Cr Dalam Tanaman Hanjuang pada Berbagai Waktu Remediasi

Konsentrasi logam Cr dalam tanaman hanjuang disajikan pada Tabel 4. Tanaman hanjuang yang digunakan pada penelitian ini berusia 1,5 bulan dan dilakukan penentuan konsentrasi Cr yang terkandung di dalamnya. Dari hasil pengukuran diketahui bahwa konsentrasi Cr yang terkandung di dalam tanaman hanjuang sebelum ditanam sebagai fitoremediator sangat kecil sehingga tidak terdeteksi. Akan tetapi, pada saat panen tanaman fitoremediasi tersebut, terutama yang ditanam pada tanah dengan penambahan pencemar, diperoleh hasil seperti disajikan pada Tabel 4. Dari tabel tersebut, terlihat bahwa kandungan Cr di dalam tanaman meningkat seiring dengan lamanya masa remediasi dan kandungan tertinggi ditemukan pada tanaman hanjuang yang meremediasi selama 63 hari dengan konsentrasi total sebesar 54,6278 mg/kg. Hal ini dapat terjadi karena semakin lama usia tanaman maka semakin berkembang pula organ-organ dalam tanaman yang berperan dalam proses pengikatan logam berat. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Samar *et al.* (2019) yang melaporkan bahwa penyerapan logam merkuri secara maksimum oleh kacang kalopo diperoleh pada waktu tanam yang lebih lama.

Tabel 4. Konsentrasi Cr Dalam Tanaman Hanjuang

Bagian Tanaman	Konsentrasi (mg/kg)		
	21 Hari	42 Hari	63 Hari
Akar	15,6126	20,6357	21,8709
Batang	0,8399	1,8939	9,0909
Daun	16,8808	22,7273	23,6660
Total	33,3333	45,2569	54,6278

Pada Tabel 4 di atas, terlihat bahwa konsentrasi Cr yang terkandung di dalam tanaman hanjuang nilainya lebih kecil dibandingkan dengan yang berkurang pada

tahah. Hal tersebut dapat disebabkan karena adanya rumput-rumput kecil atau gulma yang tumbuh di sekitar pot tanaman sehingga rumput-rumput tersebut dapat menyerap logam yang ada pada tanah. Selain itu, adanya cacing tanah yang memakan tanah menyebabkan konsentrasi Cr di dalam tanah jadi berkurang.

Logam berat yang terserap dalam akar tanaman akan menghasilkan protein regulator di dalam akar sebagai senyawa pengikat (kelat) yang disebut dengan fitokelatin. Logam berat seperti Cr dapat berikatan dengan enzim Gamma-glutamylcysteinyl dipeptidyl transpeptidase (PC synthase) yang memicu konversi glutation menjadi fitokelatin (Handayanto *et al.*, 2017). Fitokelatin akan memacu terbentuknya senyawa kompleks dan berpindahnya logam dari akar ke bagian tanaman lainnya. Unsur logam membentuk ikatan sulfida dan membentuk senyawa kompleks, sehingga logam dapat lebih mudah terserap oleh akar dan kemudian ditranslokasikan ke bagian tanaman lainnya melalui jaringan xylem. Logam berat dapat berikatan dengan fitokelatin akibat ikatan kovalen koordinasi antara gugus sulfhidril (-SH) dengan logam berat. Proses ini melibatkan pertukaran ion logam berat dengan ion hidrogen pada gugus sulfhidril tersebut, yang berfungsi sebagai donor pasangan elektron dalam ikatan kovalen koordinasi tersebut. Adanya fitokelatin juga dapat melindungi tanaman dari cekaman logam berat di lingkungannya, sehingga tidak mengganggu proses pertumbuhan tanaman tersebut (Kilikily *et al.*, 2020).

Efektivitas Penyerapan Logam Cr

Efektivitas penyerapan logam Cr oleh tanaman hanjuang disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Efektivitas Penyerapan Logam Cr

Perlakuan	% EP Logam Cr
T+Cr-1	33,28 %
T+Cr-2	45,88 %
T+Cr-3	54,39 %

Keterangan: T+Cr-1= Tanah dengan Cr masa panen 21 hari; T+Cr-2 = Tanah dengan Cr masa panen 42 hari; T+Cr-3 = Tanah dengan Cr masa panen 63 hari.

Tabel 5 menunjukkan bahwa tanaman hanjuang memiliki efektivitas penyerapan paling tinggi pada tanaman yang meremediasi selama 63 hari dengan persentase 54,39%, disusul oleh tanaman yang meremediasi selama 42 hari dan 21 hari yaitu berturut-turut sebesar 45,88% dan 32,95%. Dalam penelitian ini

ditemukan bahwa semakin meningkat umur tanaman hanjuang maka semakin meningkat pula daya serap logamnya. Hasil ini didukung oleh penelitian Nelis *et al.* (2020), yang melaporkan bahwa semakin lama tanaman hanjuang meremediasi logam Pb dalam tanah, semakin meningkat efektivitas penyerapannya. Nilai efektivitas penyerapan dalam fitoremediasi menunjukkan seberapa besar sistem remediasi mampu mengurangi konsentrasi logam berat yang terkandung di dalam tanah yang didasari pada persentase pengurangan konsentrasi bahan pencemar. Tanaman dikatakan efektif sebagai fitoremediator jika nilai efektivitasnya di atas 50% dalam menurunkan konsentrasi bahan pencemar (Malik dan Biswas, 2012). Dengan demikian, tanaman hanjuang yang digunakan pada penelitian ini untuk meremediasi logam Cr pada tanah tercemar cukup efektif setelah meremediasi tanah tercemar Cr selama 63 hari (seperti disajikan pada Tabel 5).

Faktor Biokonsentrasi (BCF) dan Faktor Transport (TF)

Nilai faktor biokonsentrasi (BCF) dan faktor translokasi (TF) pada tanaman hanjuang dapat dilihat pada Tabel 6. Analisis faktor biokonsentrasi dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui potensi tanaman hanjuang dalam menyerap logam Cr, sedangkan analisis faktor translokasi untuk mengetahui perbandingan logam yang terakumulasi di daun dengan logam yang terakumulasi di akar. Nilai BCF dikategorikan menjadi 3 jenis, yakni jika nilai $BCF > 1$ maka tanaman yang digunakan disebut *metal accumulator*, jika $BCF < 1$ maka tanaman disebut *metal excluder* dan apabila nilainya mendekati 1 maka disebut dengan *metal indicator*. Pada Tabel 6, terlihat bahwa $BCF Cr < 1$ di seluruh perlakuan, sehingga tanaman

Tabel 6. Nilai Faktor Biokonsentrasi dan Faktor Transport Dalam Tanaman Hanjuang

Perlakuan	BCF	TF
T+Cr-1	0,3328	1,0812
T+Cr-2	0,4588	1,1013
T+Cr-3	0,5439	1,0802

Keterangan: BCF = Faktor Biokonsentrasi; TF = Faktor Transport; T+Cr-1 = Tanah dengan Cr masa panen 21 hari; T+Cr-2 = Tanah dengan Cr masa panen 42 hari; T+Cr-3 = Tanah dengan Cr masa panen 63 hari.

hanjuang bersifat *metal excluder*, yaitu dapat mencegah logam memasuki tanaman bagian atas secara efektif, namun konsentrasinya masih tinggi pada bagian akar (Santana, *et al.*, 2018).

Nilai faktor translokasi (TF) dikategorikan menjadi dua jenis, yaitu apabila nilai $TF > 1$ mekanismenya fitoekstraksi dan apabila nilai $TF < 1$ mekanismenya fitostabilisasi. Pada penelitian ini ditemukan bahwa nilai TF dari tanaman hanjuang adalah > 1 pada seluruh perlakuan, yang artinya kemampuan tanaman hanjuang dalam menyerap logam Cr pada penelitian ini bersifat fitoekstraksi.

SIMPULAN

Kandungan total logam Cr dalam tanah setelah ditanami tanaman hanjuang mengalami penurunan konsentrasi. Hal tersebut disebabkan oleh logam-logam Cr yang terkandung di dalam tanah diserap oleh tanaman hanjuang. Nilai efektivitas penyerapan tertinggi oleh tanaman hanjuang terjadi pada usia 63 hari yakni sebesar 54,39% dengan nilai faktor biokonsentrasi untuk semua perlakuan < 1 yang menandakan tanaman hanjuang bersifat *metal excluder* dan nilai faktor transport > 1 yang menandakan mekanisme secara fitoekstraksi. Dari hasil penelitian ini disarankan menggunakan waktu panen/tanam yang lebih lama atau lebih dari 63 hari guna mengetahui daya serap tanaman hanjuang secara lebih maksimum.

DAFTAR PUSTAKA

- Awaluddin, M., dan Tangahu, B. V. 2021. Studi Literatur Bioremediasi Tanah Terkontaminasi Kromium di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto Menggunakan Bakteri *Azotobacter* S8 dan *Bacillus substillis*. *Jurnal Teknik ITS*. 9(2):185-190.
- Handayanto, Eko. 2017. *Fitoremediasi dan Phytomining Logam Berat Pencemar Tanah*. Universitas Brawijaya Press. Malang.
- Juhriah, J., dan Alam, M. 2016. Fitoremediasi Logam Berat Merkuri (Hg) pada Tanah Dengan Tanaman *Celosia plumosa* (Voss) Burv. *Bioma: Jurnal Biologi Makassar*. 1(1): 1-8.
- Kilikily, D., Mariwy, A., dan Sunarti, S. 2020. Studi Akumulasi Logam Berat Merkuri (Hg) Oleh Tanaman Trembesi (Samanea saman). *Science Map Journal*. 2(2): 85-89.
- Laoli, B. M. S., Kisworo, dan Djoko R. 2021. Akumulasi Pencemar Kromium (Cr) Pada Tanaman Padi di Sepanjang Kawasan Aliran Sungai Opak, Kabupaten Bantul. *Biospecies*. 14(1): 59-66.
- Malik, N., dan Biswas, A. K. 2012. Role of Higher Plants in Remediation of Metal Contaminated Sites. *Scientific Reviews and Chemical Communication*. 2(2): 141-146.
- Nababan, W., Jati, W.N., dan Murwati, I. 2017. Efektivitas Penyerapan Logam Berat Cd (Kadmium) oleh Tumbuhan Ketul (*Biden Pilosa* L) dengan Penambahan Mikroriza dan EDTA. *Jurnal Teknologi*. 1-14.
- Nelis, H., Luthfia H. M., dan Noviani A. 2020. Uji Kemampuan Daya Serap Hanjuang (*Cordyline fruticosa*) sebagai Agen Fitoremediasi Logam Pb pada Media Tanah. *Jurnal Bioteknologi dan Biosains Indonesia*. 7(1): 114-120.
- Novie, Eka P. S., Nurlela, dan Supriyono Eko W. 2019. Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Berat Cd Menggunakan Tanaman Hanjuang (*Cordyline fruticosa*). *Jurnal Sains Natural*. 9(2): 57-65.
- Purnama, R. 2022. Uji Kandungan Logam Berat Kromium (Cr) pada Air Irigasi, Tanah dan Sayuran Kangkung (*Ipomoea reptans* Poir.) di Kawasan Industri Kecamatan Margaasih Kabupaten Bandung. *Disertasi*. Universitas Pasundan. Bandung.
- Puspitasari, K. A., Siaka, I. M., Suprihatin, I. E., dan Wardani, K. 2022. Spesiasi Dan Bioavailabilitas Logam Berat Pb Dan Cu Dalam Tanah Pertanian Di Desa Sukawana, Kintamani. *Jurnal Kimia*. 16(1): 66-71.
- Rosihan, A. dan Husaini. 2017. *Logam Berat Sekitar Manusia*. Lambung Mangkurat University Press. Banjarmasin.

- Samar, Y. S., Mariwy, A., dan Manuhutu, J. B. 2019. Fitoremediasi merkuri (Hg) menggunakan tanaman kacang Kalopo (*Calopogonium mucunoides*). *Science Map Journal*. 1(2): 93-98.
- Santana, I. K. Y. T., Julyantoro, P. G. S., dan Wijayanti, N. P. P. 2019. Akumulasi Logam Berat Seng (Zn) pada Akar dan Daun Lamun *Enhalus acoroides* di Perairan Pantai Sanur, Bali. *Current Trends in Aquatic Science*. 1(4): 47-56.
- Sarkar, S. K., Favas, P. K. C., Rakhsit, D., dan Satpathy, K. K. 2014. Geochemical Speciation and Risk Assesment of Heavy Metals in Soils and Sediments. *Intech*. 25(1): 723-757.
- Setiawan, I. M. R., Suprihatin, I. E., dan Siaka, I. M. 2023. Bioavailabilitas Logam Berat Pb dan Cu Dalam Sedimen dan Akumulasinya Dalam Buah Pedada (*Sonneratia alba*) di Kawasan Mangrove, Kedonganan. *Jurnal Kimia*. 17(2): 175-184.
- Siaka, I. M., Suastuti, dan Mahendra I. P. B. 2016. Distribusi Logam Berat Pb dan Cu pada Air Laut, Sedimen, dan Rumput Laut di Perairan Pantai Pandawa. *Jurnal Kimia*. 10(2): 190-196.
- Siaka, I. M., Udayani, P. D. S., dan Suyasa, I. W. B. 2021. Bioavailabilitas dan Kandungan Logam Pb, Cu pada Tanah dan Sawi Putih di Desa Baturiti. *Jurnal Kimia*. 15(1): 20-28.
- Siaka, I.M., Utama, I.M.S., Manuaba, I.B.P, and Adnyana, I M. 2014. Heavy Metals Contents in the Edible Parts of Some Vegetables Grown in Candi Kuning, Bali and their Predicted Pollution in the Cultivated Soil. *Jurnal of Environmental and Earth Science*. 4(23): 78-83.
- Supriatna, Sondang S., dan Indah R. 2021. Pencemaran Tanah oleh Pestisida di Perkebunan Sayur Kelurahan Eka Jaya Kecamatan Jambi Selatan Kota Jambi (Studi Keberadaan Jamur Makroza dan Cacing Tanah). *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*. 21(1): 460-466.