

**PENGARUH CEKAMAN KROM TRIVALEN (Cr^{3+})
TERHADAP PERKECAMBAHAN KULTIVAR SORGUM
(*Sorghum bicolor* (L.) Moench.)**

ORAL

**Sri Kasmiyati¹, Santosa², Irfan Dwidja Priyambada³, Kumala Dewi²,
Sundarsih¹, dan Sucahyo¹**

¹Fakultas Biologi Universitas Kristen Satya Wacana Salatiga

²Fakultas Biologi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta

³Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada Yogyakarta

e-mail: kas@staff.uksw.edu

ABSTRAK

Logam berat krom (Cr) memiliki keunikan dibanding logam berat lainnya. Cr di tanah dijumpai dalam beberapa tingkat oksidasi yaitu Cr^{2+} – Cr^{6+} , dan tingkat oksidasi yang paling stabil adalah Cr^{3+} (trivalen) dan Cr^{6+} (heksavalen). Cr^{3+} dan Cr^{6+} memiliki kelarutan, reaktifitas, toksisitas serta sifat fisika dan kimia berbeda. Tujuan dari penelitian untuk mengetahui efek cekaman Cr^{3+} terhadap perkecambahan 12 kultivar sorgum. Uji perkecambahan dilakukan pada 12 varietas sorgum (Badik, UPCA-1, Keris, Keris M3, Hegari Genjah, Gambela, Selayar, Sangkur, Mandau, Batari, Kawali dan Numbu), yang dikecambahkan pada cawan petri dengan perlakuan Cr^{3+} dalam bentuk senyawa $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{KCr}(\text{SO}_4)$ dengan konsentrasi 0 dan 500 mg Cr/l selama 1 minggu. Parameter yang diamati meliputi jumlah biji berkecambah setiap hari, panjang akar, panjang tunas/pucuk, berat basah dan berat kering kecambah diukur pada akhir perkecambahan. Hasil penelitian menunjukkan interaksi antara kultivar dan perlakuan Cr mempengaruhi secara nyata panjang akar, panjang pucuk, bobot basah kecambah, bobot kering kecambah, nilai SVI (seedling vigor index), dan persentase perkecambahan. Cekaman Cr^{3+} (CrCl_3 dan $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2$) sebesar 500 mg/l menurunkan secara nyata persentase perkecambahan biji, nilai SVI, panjang akar dan pucuk, serta bobot basah dan kering dari kecambah 12 kultivar sorgum yang diuji. Perkecambahan dan pertumbuhan kecambah dari 12 kultivar sorgum menunjukkan perbedaan respon terhadap cekaman bentuk senyawa Cr^{3+} .

Kata kunci: toksisitas, krom trivalen, kultivar, sorgum, perkecambahan

PENDAHULUAN

Sorgum merupakan tanaman alternatif yang prospektif dapat dikembangkan sebagai sumber pangan, pakan dan bahan dasar industri salah satunya untuk industri bioetanol. Biji sorgum dapat digunakan sebagai bahan pangan utama, karena selain mengandung karbohidrat, juga memiliki kandungan nutrisi tinggi (protein, lemak, kalsium, besi, fosfor dan vitamin) lebih tinggi dibandingkan dengan beras. Tanaman sorgum di Indonesia sudah dikenal sejak lama, namun pengembangan tidak sebaik padi dan jagung, karena daerah yang memanfaatkan sorgum sebagai bahan pangan masih sedikit. Sorgum sangat potensial untuk diangkat menjadi komoditas agroindustri karena memiliki beberapa keunggulan. Keunggulan sorgum dibandingkan dengan tanaman pangan

lain di antaranya memiliki daya adaptasi luas, tahan terhadap kekeringan, serangan hama serta penyakit, dapat diratun, serta sangat cocok untuk dikembangkan di daerah marjinal (Samanhudi, 2009; Sirappa, 2003). Menurut Revathi *et al.*, (2011), sorgum merupakan salah satu jenis tanaman akumulator logam berat. Tanaman sorgum dapat terpapar oleh logam berat krom (Cr) melalui penggunaan pupuk yang mengandung logam berat ataupun penggunaan limbah padat atau cair industri mengandung logam Cr sebagai pupuk atau air irigasi (Anonim 1999; Yadav 2010).

Cr merupakan salah satu logam berat yang banyak ditemukan di alam. Cr berada di tanah secara alami dengan kisaran kandungan antara 1-1000 mg/kg (Lindsay, 1979). Selain terjadi secara alamiah, Cr di lingkungan juga bersumber dari aktivitas antropogenik. Menurut Bielicka *et al.*, (2005), berbagai aktivitas manusia di bidang pertanian dan industri yang dapat meningkatkan konsentrasi Cr di dalam tanah meliputi metalurgi, penyepuhan logam, produksi cat dan pigmen, penyamakan kulit, pengawetan kayu, produksi senyawa kimia mengandung Cr, pengeboran/penambangan minyak, penggunaan pestisida dan pupuk, instalasi pendingin air, inhibitor korosi, produksi bubur kayu (*pulp*) dan kertas, serta industri tekstil. Cr di tanah dijumpai dalam beberapa tingkat oksidasi yaitu Cr^{2+} – Cr^{6+} dan Cr yang memiliki tingkat oksidasi paling stabil adalah Cr^{3+} dan Cr^{6+} . Kebanyakan Cr^{3+} berasal dari alam, sedangkan Cr^{6+} bersumber dari aktivitas antropogenik (Kotas and Stasicka, 2000).

Dibandingkan dengan logam berat lain, Cr merupakan logam berat yang memiliki keunikan. Cr yang memiliki valensi berbeda, yaitu Cr trivalen (Cr^{3+}) dan Cr heksavalen (Cr^{6+}), keduanya berbeda dalam hal mobilitas, kelarutan, reaktivitas, ketersediaan, dan tingkat toksisitasnya. Ion Cr^{6+} lebih toksik dibandingkan Cr^{3+} (Zayed and Terry, 2003; Yu and Gu, 2007). Cr dalam bentuk Cr^{3+} tidak berbahaya, bahkan merupakan salah unsur esensial yang dibutuhkan oleh hewan dan manusia. Cr^{3+} dilaporkan mempunyai sifat antioksidatif secara *in vivo* dan berperan untuk mengaktifkan enzim, mempertahankan stabilitas protein dan asam nukleat. Cr^{3+} diperlukan dalam aksi insulin melalui pembentukan molekul organometalik yang disebut GTF (*glucose tolerance factor*). Cr^{3+} pada konsentrasi sangat tinggi bersifat toksik pada tumbuhan, sedangkan pada hewan tidak toksik. Cr^{3+} memiliki toksisitas 10-100 kali lebih rendah dibandingkan Cr^{6+} (Kim *et al.*, 2002). Efek toksisitas Cr^{3+} pada beberapa jenis tumbuhan telah diteliti. Cr^{3+} dalam bentuk CrCl_3 telah diteliti pada tanaman *Vigna radiata*, *Lycopersicon esculentum*, *Cucumis melo*, *Leersia hexandra*, *Salix matzudana* (Karuppanapandian *et al.*, 2006; Henriquez, 2010; Akinci & Akinci, 2010; Liu *et al.*, 2011; Yu and Gu, 2007; Zhang *et al.*, 2009;). Senyawa Cr^{3+} dalam bentuk $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ telah dsiteliti pada tanaman *Corylus aveliana*, *Allium cepa*, *Urtica dioica*, *Brassica napus*, dan *Zea mays* (Straiti *et al.*, 1999; Liu and Kottke, 2003; Shams *et al.*, 2010). Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui respon perkecambahan dari 12 kultivar sorgum yang ada di Indonesia terhadap cekaman Cr^{3+} .

BAHAN DAN METODE

Sebanyak 12 kultivar sorgum digunakan dalam penelitian ini. Sepuluh varietas diperoleh dari BB Biogen (Bogor) meliputi Badik, UPCA-1, Keris, Keris M3, Hegari Genjah, Gambela, Selayar, Sangkur, Mandau, dan Batari, sedangkan 2 kultivar dari Balitsereal (Maros, Sulawesi Selatan) yaitu Kawali dan Numbu. Senyawa Cr^{3+} yang digunakan adalah dalam bentuk $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (Merck). Penelitian menggunakan rancangan acak lengkap dengan 2 faktor yaitu perlakuan Cr^{3+} dan kultivar sorgum. Ada 3 perlakuan Cr^{3+} yaitu CrCl_3 sebesar 500 mg Cr/l, $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2$ sebesar 500 mg Cr/l, dan kontrol (tanpa perlakuan Cr^{3+}). Perlakuan kultivar sorgum terdiri dari 12 kultivar sorgum. Setiap perlakuan dengan 5 ulangan.

Respon perkecambahan dari 12 kultivar sorgum terhadap 3 perlakuan Cr^{3+} diamati dengan cara mengecambahkan biji selama 1 minggu. Sebanyak 50 biji untuk tiap kultivar, disterilisasi menggunakan larutan pemutih komersial mengandung natrium hipoklorid (NaClO) 0,5% selama 10 menit, dibilas dengan akuades steril dan direndam dalam akuades steril selama 4-5 jam untuk mempercepat perkecambahan biji. Perlakuan Cr^{3+} diberikan bersama-sama dengan larutan Hoagland untuk membasahi biji sebanyak 20 ml pada awal perkecambahan dan ditambah 5 ml setiap hari selama 7 hari, dan larutan Hoagland tanpa perlakuan Cr digunakan sebagai kontrol. Perkecambahan biji dilakukan dalam kondisi gelap, pada suhu $25 \pm 2^\circ\text{C}$.

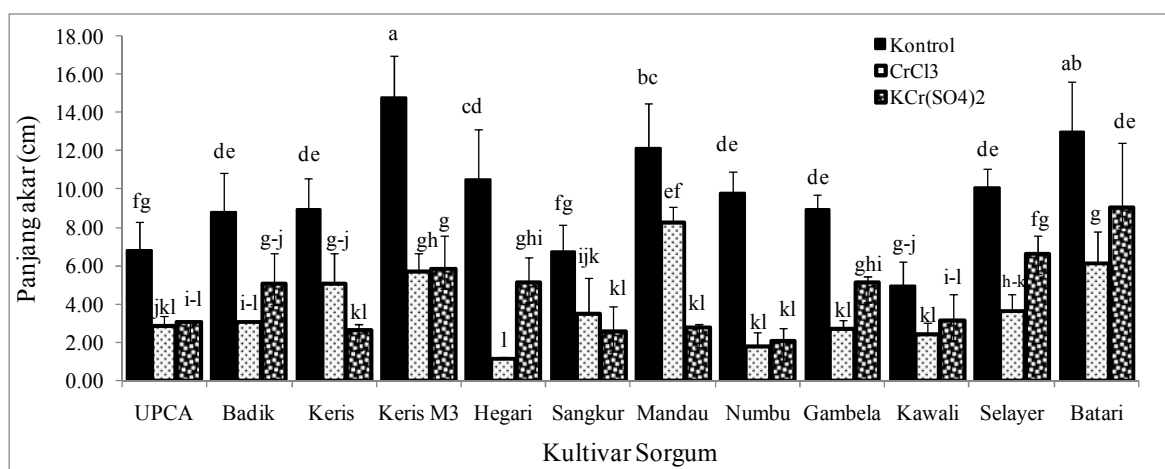
Tabel 1. Rumus Untuk Penghitungan Nilai Indeks Parameter Perkecambahan

Parameter Perkecambahan	Rumus	Keterangan	Referensi
Persentase perkecambahan (PKC)	$\sum \text{Bk} / \sum \text{TB} \times 100$	$\sum \text{Bk}$ = jumlah biji berkecambah $\sum \text{TB}$ = jumlah total biji	Talukdar (2011)
Indeks vigor kecambah (SVI)	$\text{PKC} \times \text{PjK}$	PKC = % perkecambahan PjK = panjang kecambah (cm)	Jahangir <i>et al.</i> , (2009)

Parameter yang diamati setiap hari adalah banyaknya jumlah biji yang berkecambah selama 7 hari. Biji dikatakan berkecambah bila radikulanya telah tumbuh memanjang sebesar ± 2 mm. Pertumbuhan kecambah meliputi panjang akar, panjang pucuk/tunas, bobot basah dan kering diukur pada akhir perkecambahan. Hasil penghitungan jumlah biji dan pengukuran pertumbuhan kecambah digunakan untuk menentukan persentase perkecambahan, dan indeks vigor kecambah (SVI, *Seedling Vigor Index*) dengan rumus seperti yang tercantum pada Tabel 1. Data pengamatan dianalisis secara statistik dengan analisis sidik ragam (ANOVA) menggunakan program SAS. Hasil analisis varian dari parameter yang berbeda nyata diuji lanjut menggunakan *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) taraf uji 5% untuk mengetahui beda nyata di antara rerata perlakuan atau kombinasi perlakuan.

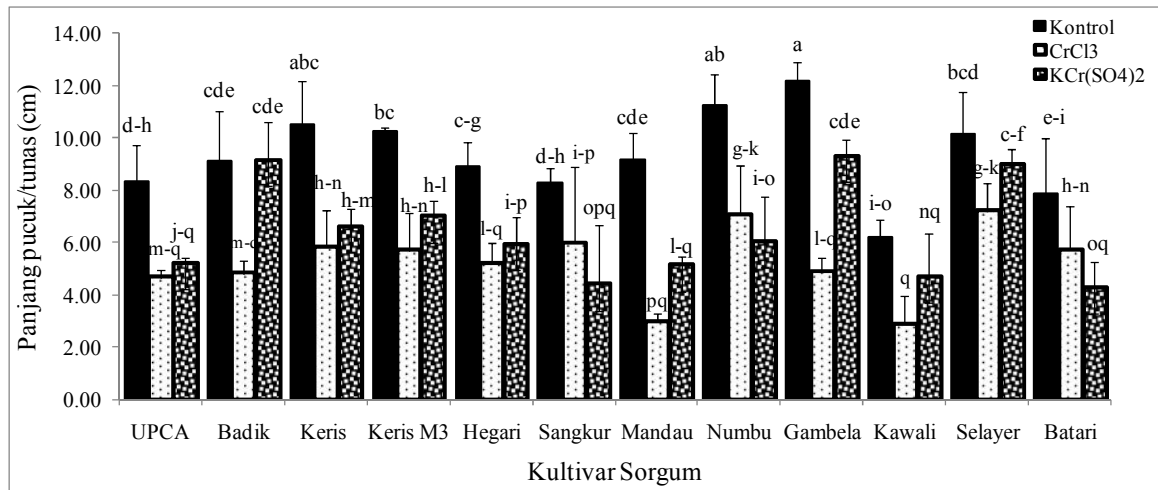
HASIL DAN PEMBAHASAN

Perkecambahan biji sorgum sangat dipengaruhi lingkungan. Dari hasil penelitian ini ditunjukkan terdapat pengaruh secara nyata interaksi antara perlakuan Cr^{3+} (CrCl_3 500 mg Cr/l, $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2$ 500 mg Cr/l, dan kontrol) dengan kultivar terhadap respon perkecambahan. Terdapat perbedaan respon panjang akar 12 kultivar sorgum terhadap cekaman Cr^{3+} . Panjang akar pada tanaman kontrol juga menunjukkan perbedaan di antara 12 kultivar sorgum yang diuji. Cekaman Cr^{3+} terhadap 12 kultivar sorgum menyebabkan penurunan secara nyata panjang akar (Gambar 1) dan panjang pucuk/tunas (Gambar 2) dibandingkan kontrol. Pada perlakuan Cr^{3+} , Numbu menunjukkan penurunan panjang akar kecambah paling besar (80,98%), sedangkan kultivar kultivar Batari mengalami penurunan paling kecil (41,80%) dibandingkan kultivar lain.



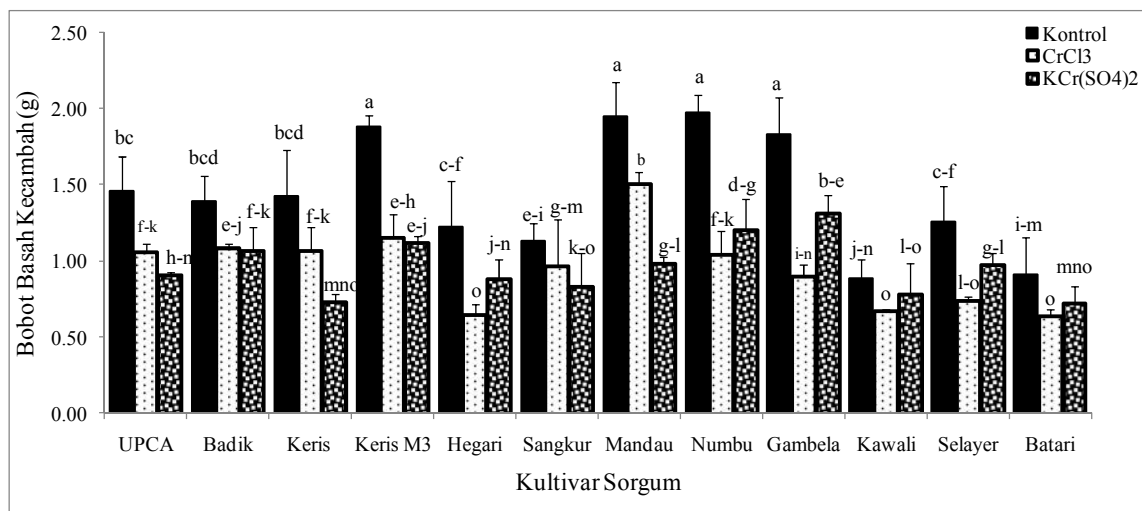
Gambar 1. Panjang Akar dari 12 Kultivar Sorgum pada Perlakuan Cekaman Cr^{3+}

Panjang pucuk/tunas pada tanaman kontrol menunjukkan perbedaan nyata di antara 12 kultivar. Respon panjang pucuk/tunas terhadap cekaman Cr^{3+} juga menunjukkan perbedaan di antara 12 kultivar sorgum yang diuji (Gambar 2). Hasil penelitian menunjukkan pengaruh cekaman Cr^{3+} dalam bentuk CrCl_3 dan $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2$ terhadap panjang pucuk/tunas kecambah lebih rendah dibandingkan terhadap panjang akar. Bentuk senyawa Cr^{3+} juga menunjukkan efek yang berbeda terhadap panjang akar dan pucuk kecambah dari 12 kultivar sorgum. Senyawa Cr^{3+} dalam bentuk CrCl_3 menunjukkan efek lebih toksik terhadap pertumbuhan panjang akar dan pucuk/tunas dari 12 kultivar sorgum dibandingkan $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2$. Rata-rata penurunan panjang akar dan panjang pucuk dari kedua belas kultivar sorgum pada perlakuan CrCl_3 adalah berturut-turut sebesar 59,96% dan 53,87%, sedangkan pada perlakuan $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2$ masing-masing berturut-turut sebesar 43,73% dan 31,77%.



Gambar 2. Panjang Pucuk/Tunas dari 12 Kultivar Sorgum pada Perlakuan Cekaman Cr^{3+}

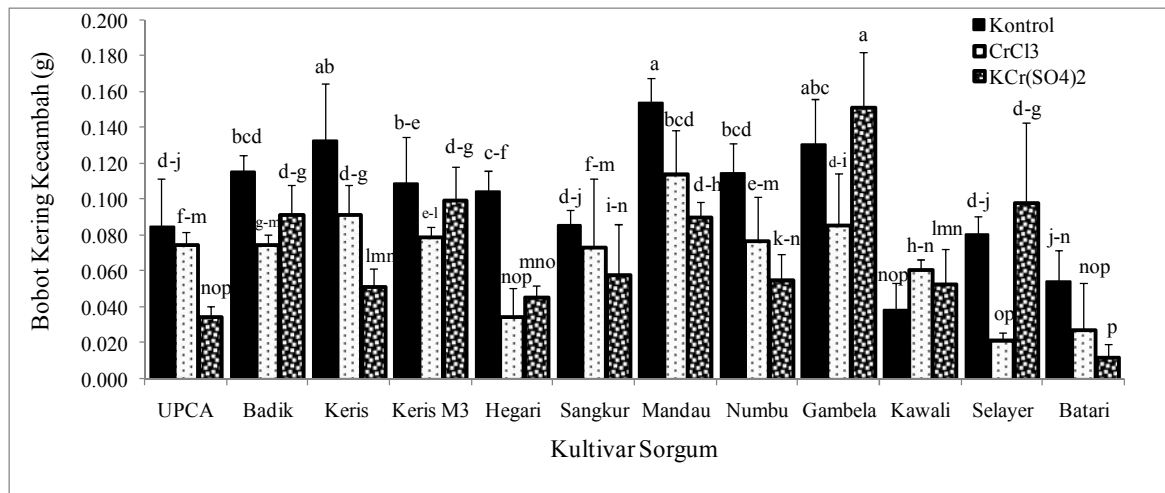
Cekaman Cr^{3+} juga menunjukkan pengaruh terhadap biomassa kecambah (bobot basah dan bobot kering). Tanaman sorgum kontrol menunjukkan variasi bobot basah dan bobot kering diantara 12 kultivar. Respon bobot basah dan kering dari 12 kultivar sorgum terhadap cekaman Cr^{3+} dalam bentuk CrCl_3 dan $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2$ juga menunjukkan perbedaan di antara 12 kultivar sorgum yang diuji.



Gambar 3. Bobot Basah Kecambah dari 12 Kultivar Sorgum pada Perlakuan Cekaman Cr^{3+}

Kultivar sorgum yang mendapat cekaman Cr^{3+} baik dalam bentuk CrCl_3 maupun $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2$ mengalami penurunan secara nyata bobot basah (Gambar 3) dan bobot kering (Gambar 4) dibandingkan perlakuan kontrol. Senyawa Cr^{3+} dalam bentuk CrCl_3 menunjukkan efek toksik yang hampir sama dengan senyawa Cr^{3+} dalam $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2$ terhadap bobot basah dan kering kecambah pada 12 kultivar sorgum yang diuji. Rata-rata penurunan bobot basah dan bobot kering dari keduabelas kultivar sorgum yang diuji pada perlakuan CrCl_3 adalah berturut-turut

sebesar 32,73% dan 31,50%, sedangkan pada perlakuan $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2$ masing-masing berturut-turut sebesar 28,67% dan 27,87%.



Gambar 4. Bobot Basah Kecambah dari 12 Kultivar Sorgum pada Perlakuan Cekaman Cr^{3+}

Pada perlakuan CrCl_3 , kultivar Numbu menunjukkan persentase penurunan bobot basah paling besar yaitu 50,93%, sedangkan Mandau mengalami penurunan bobot basah paling besar yaitu 49,36% pada perlakuan $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2$. Kultivar Hegari mengalami penurunan bobot kering kecambah paling besar yaitu 66,85% pada perlakuan CrCl_3 , sedangkan kultivar Batari mengalami penurunan bobot kering paling besar yaitu 77,53% pada perlakuan $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2$. Berdasarkan respon pertumbuhan panjang (akar dan pucuk) serta biomassa kecambah (bobot basah dan bobot kering kecambah) terhadap cekaman CrCl_3 , kultivar Hegari mengalami penurunan pertumbuhan panjang dan biomassa kecambah paling besar (61,39%) dibandingkan kultivar yang lain, sedangkan pada perlakuan $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2$ penurunan paling besar dijumpai pada kultivar Keris (54,63%).

Penurunan pertumbuhan kecambah akibat perlakuan Cr^{3+} disebabkan Cr merupakan logam berat non esensial yang bersifat toksik. Menurut Verma *et al.*, (2009) kecambah yang terpapar logam dalam konsentrasi tinggi akan mengalami penghambatan metabolisme dan pertumbuhan sebagai akibat adanya penghambatan penyerapan nutrisi oleh radikula. Liu *et al.*, (2011) melaporkan bahwa penghambatan pertumbuhan kecambah dapat juga disebabkan oleh adanya penghambatan pembelahan dan pemanjangan sel akibat terjadinya aberasi kromosom. Peralta *et al.*, (2001) berdasarkan hasil penelitiannya melaporkan bahwa fase perkecambahan biji merupakan proses fisiologis pertama yang dipengaruhi oleh logam berat Cr, dan kemampuan biji untuk berkecambah di dalam media mengandung Cr dapat digunakan sebagai indikator tingkat toleransinya terhadap logam tersebut.

Terdapat interaksi antara perlakuan Cr^{3+} dan kultivar terhadap parameter persentase perkecambahan (Tabel 2) dan nilai indeks vigor kecambah (SVI) (Tabel 3) pada 12 kultivar sorgum yang diuji. Pada tiap kultivar sorgum yang diuji,

perlakuan Cr^{3+} dalam bentuk CrCl_3 dan $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2$ pada konsentrasi 500 mg Cr/l tidak mempengaruhi secara nyata persentase perkecambahan biji. Persentase perkecambahan biji kultivar sorgum yang diberi perlakuan Cr^{3+} baik dalam bentuk CrCl_3 dan $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2$ tidak menunjukkan perbedaan nyata dibandingkan dengan kontrol. Dari 12 kultivar sorgum yang diuji, hanya kultivar Batari dan Selayer yang menunjukkan persentase perkecambahan berbeda dengan kultivar sorgum lain. Hasil ini menunjukkan bahwa efek penghambatan Cr^{3+} terhadap perkecambahan biji dari 12 kultivar sorgum lebih kecil dibandingkan pertumbuhan kecambah. Corradi *et al.*, (1993) melaporkan bahwa perkecambahan biji *Salvia sclarea* secara *in vitro* tidak dipengaruhi oleh Cr dalam bentuk $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (dikromat), namun radikula yang muncul dan terpapar oleh Cr dalam media mengalami penghambatan pertumbuhan.

Tabel 2. Persentase Perkecambahan Biji kultivar Sorgum pada Cekaman Cr^{3+}

Kultivar Sorgum	Perlakuan Cr			Rata-rata
	Kontrol	CrCl_3	$\text{KCr}(\text{SO}_4)_2$	
UPCA	83,75 ^{a-d}	90,00 ^{abc}	75,00 ^{c-f}	82,92
Badik	82,55 ^{b-e}	85,00 ^{abc}	90,00 ^{abc}	85,85
Keris	90,91 ^{abc}	90,00 ^{abc}	90,00 ^{abc}	90,30
Keris M3	89,38 ^{abc}	100,00 ^a	87,50 ^{abc}	92,29
Hegari	66,58 ^{ef}	80,00 ^{cde}	60,00 ^f	68,86
Sangkur	83,22 ^{a-e}	87,50 ^{abc}	90,00 ^{abc}	86,91
Mandau	81,84 ^{b-e}	90,00 ^{abc}	77,50 ^{cde}	83,11
Numbu	84,87 ^{abc}	80,00 ^{cde}	75,00 ^{c-f}	79,96
Gambela	89,17 ^{abc}	97,50 ^{ab}	97,50 ^{ab}	94,72
Kawali	67,13 ^{def}	82,50 ^{b-e}	80,00 ^{cde}	76,54
Selayer	74,23 ^{c-f}	45,00 ^g	60,00 ^f	59,74
Batari	31,15 ^h	25,00 ^h	22,50 ^h	26,22
Rata-rata	77,06	79,38	75,42	(+)

Pada perlakuan CrCl_3 dan $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2$, nilai SVI dari 12 kultivar sorgum yang diuji mengalami penurunan secara nyata dibandingkan dengan perlakuan kontrol. Kultivar Hegari mengalami penurunan nilai SVI paling besar yaitu 87,61% dibandingkan kultivar lain pada perlakuan CrCl_3 , sedangkan pada perlakuan $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2$ kultivar sorgum yang mengalami penurunan nilai SVI paling tinggi dijumpai pada Numbu yaitu mencapai 81,13%. Nilai indeks vigor kecambah sangat ditentukan oleh persentase perkecambahan biji dan pertumbuhan panjang kecambah (akar dan pucuk).

Tabel 3. Nilai *Seedling Vigor Index* (SVI) Kecambah Kultivar Sorgum pada cekaman Cr^{3+}

Kultivar Sorgum	Perlakuan Cr			Rata-rata
	Kontrol	CrCl_3	$\text{KCr}(\text{SO}_4)_2$	
UPCA	573,67 ^{de}	250,90 ^{h-l}	226,61 ^{i-l}	350,39
Badik	712,46 ^{cd}	259,10 ^{g-l}	449,85 ^{efg}	473,80
Keris	825,47 ^c	449,85 ^{efg}	231,73 ^{i-l}	502,35
Keris M3	1311,52 ^a	567,67 ^{de}	499,54 ^{ef}	792,91
Hegari	710,78 ^{cd}	88,09 ^l	321,80 ^{f-k}	373,56
Sangkur	563,39 ^{de}	329,88 ^{f-k}	229,62 ^{i-l}	374,29
Mandau	1003,62 ^b	734,92 ^{cd}	210,96 ^{i-l}	649,83
Numbu	770,31 ^c	129,45 ^{kl}	145,36 ^{ijkl}	348,37
Gambela	792,72 ^c	262,60 ^{g-l}	494,57 ^{ef}	516,63
Kawali	344,23 ^{f-j}	196,03 ^{i-l}	261,36 ^{g-l}	267,20
Selayer	743,61 ^{cd}	162,55 ^{ijkl}	387,03 ^{e-i}	431,06
Batari	437,02 ^{e-h}	154,34 ^{ijkl}	161,63 ^{ijkl}	250,99
Rata-rata	732,40	298,78	301,67	(+)

Penurunan nilai indeks vigor kecambah akibat perlakuan Cr^{6+} sangat berkaitan dengan faktor yang mempengaruhi pertumbuhan memanjang kecambah dan besarnya persentase perkecambahan. Semakin rendah pertumbuhan memanjang kecambah dan semakin kecil persentase perkecambahan, maka nilai indeks vigor kecambah juga akan semakin kecil. Oleh karena itu, faktor yang menurunkan pertumbuhan panjang kecambah dan persentase perkecambahan akan juga menurunkan nilai indeks vigor kecambah. Terjadinya penurunan persentase perkecambahan biji pada kondisi cekaman Cr dilaporkan oleh Zeid (2001), merupakan akibat adanya efek penghambatan Cr pada aktivitas enzim amilase, serta adanya hambatan transpor gula hasil hidrolisis cadangan makanan dalam endosperm ke bagian embrio.

KESIMPULAN

Terdapat perbedaan respon perkecambahan dan pertumbuhan kecambah di antara kultivar sorgum terhadap cekaman Cr^{3+} . Cekaman Cr^{3+} dalam bentuk senyawa CrCl_3 dan $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2$ menurunkan panjang akar, panjang pucuk, bobot basah dan kering, serta nilai indeks vigor kecambah (SVI). Cekaman Cr^{3+} tidak mempengaruhi perkecambahan biji pada kultivar sorgum. Senyawa Cr^{3+} dalam bentuk CrCl_3 dan $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2$ menunjukkan perbedaan pengaruh terhadap pertumbuhan panjang (akar dan pucuk) dan biomassa (bobot basah dan kering) kultivar sorgum.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1999. *Background Report on Fertilizer Use, Contaminants and Regulations*, Environmental Protection Agent. Battelle 505 King Avenue. Washington, D.C. pp : 27-51.
- Akinci, I.E. and Akinci, S. 2010. Effect of chromium toxicity on germination and early seedling growth in melon (*Cucumis melo* L.) *Afr. J. Biotechnol.* 9 : 4589-4594.
- Bielicka, A., Bojanowska, I., and Wisniewski, A. 2005. Two Faces of Chromium–Pollutant and Bioelement. *Pol. J. Environ. Stud.* 14 : 5-10.
- Corradi, M.G., Bianchi, A., and Albasini, A. 1993. Chromium toxicity in *Salvia sclarea*. I. Effects of hexavalent chromium on seed germination and seedling development. *Environmental Experimental Botany.* 3(3):405-413.
- Henriques, F.S. 2010. Changes in biomass and photosynthetic parameters of tomato plants exposed to trivalent and hexavalent chromium. *Biol. Plant.* 54 : 583-586.
- Jahangir, M.M., Amjad, M., Afzal, I., Iqbal, Q., and Nawaz, A. 2009. Lettuce achene invigoration through osmopriming at supraoptimal temperature. *Pak. J. Agric. Sci.* 46 :1-5.
- Karuppanapandian, T. and Manoharan, K. 2008. Uptake and translocation of tri- and hexa-valent chromium and their effects on black gram (*Vigna mungo* L. Hepper cv. Co4) roots. *J. Plant Biol.* 51 : 192-201.
- Kim, J.G., Dixon, J.B., Chusuei, C.C., and Deng, Y. 2002. Oxidation of chromium (III) to (VI) by manganese oxides. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66 : 306-315.
- Kotas, J. and Stasicka, Z. 2000. Commentary: chromium occurrence in the environment and methods of its speciation. *Environ. Poll.* 107 : 263-283.
- Lindsay, W. L. 1979. *Chemical equilibria in soils*. John Wiley and Sons. New York. pp. 102-114.
- Liu, D. and Kottke, I. 2003. Subcellular localization of chromium and nickel in root cells of *Allium cepa* by EELS and ESI. *Cell Biol. Toxicol.* 19 : 299-311.
- Liu, Z., He, X., and Chen, W. 2011. Effect of cadmium hyperaccumulation on the concentrations of four trace elements in *Lonicera japonica* Thumb. *Ecotoxicology.* 20 : 698-705.
- Peralta, J.R., Gardea Torresdey, J.L., Tiemann, K.J., Gomes, E., Arteaga, S., and Parsons, J.G. 2001. Uptake and effects of five heavy metals on seed germination and plant growth in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 66(6):727-734.

- Revathi, K., Haribabu, T.E., and Sudha, P.N. 2010. Phytoremediation of chromium contaminated soil using Sorghum plant. *International Journal of Environmental Sciences*. 2 : 417-428.
- Samanhudi. 2009. Prospek pengembangan energi terbarukan berbasis tanaman sorgum manis (*Sorghum bicolor* L.). Dalam: *Seminar Nasional Kluster Riset Teknik*. Surakarta, Indonesia. pp. 103-109.
- Sirappa, M.P. 2003. Prospek pengembangan sorgum di Indonesia sebagai komoditas alternatif untuk pangan, pakan dan industri. *Jurnal Litbang Pertanian*. 22 : 133-140.
- Shams, K.M., Tichy, G., Fisher, A., Sager, M., Peer, T., Bashar, A., and Filip, K. 2010. Aspects of phytoremediation for chromium contaminated sites using common plants *Urtica dioica*, *Brassica napus* and *Zea mays*. *Plant Soil* 328 : 175-189.
- Strati, S., Paoletti, E., Barbolani, E., and Pirazzi, R. 1999. Root length and distribution of chromium in *Corylus avellana* with tuber albidum mycorrhizas. *Water, Air, and Soil Pollut.* 113 : 33-41.
- 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. *Curr. Res. J. Biol. Sci.* 3 : 116-123.
- Verma, A., Kumar, R., dan Sharma, Y.K. 2009. Effect of chromium on seed germination, seedling growth and its remediation with zinc in cucumber (*Cucumis sativus*). *Res. Environ. Life Sci.* 2(3) 153-156.
- Yadav, S.K. 2010. Heavy metals toxicity in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants. *S. Afr. J. Bot.* 76 : 167-179.
- Yu, X.Z. and Gu, J.D. 2007. Accumulation and distribution of trivalent chromium and effects on hybrid willow (*Salix matsudana* Koidz x *S.alba* L.) metabolism. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 52 : 503-511.
- Zayed, A.M., Lytle, C. M., Qian, J., and Terry, N. 1998. Chromium Accumulation, Translocation and Chemical Speciation in Vegetable Crops. *Planta*. 206 : 293-299.
- Zhang, X., Liu, J., Wang, D., Zhu, Y., Hu, C., and Sun, J. 2009. Bioaccumulation and chemical form of chromium in *Leersia hexandra* Swartz. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 82 : 358-362.
- Zeid, I.M. 2001. Responses of *Phaseolus vulgaris* to chromium and cobalt treatments. *Biol. Plant.* 44:111-115.