



## DAYA HAMBAT PERAK NITRAT ( $\text{AgNO}_3$ ) PADA PERKECAMBAHAN BIJI KACANG HIJAU (*Vigna radiata*)

### *INHIBITION OF SILVER NITRATE ( $\text{AgNO}_3$ ) TO SEED GERMINATION OF MUNG BEEN (*Vigna radiata*)*

Muh. Shofi\*

Institut Ilmu Kesehatan Bhakti Wiyata Kediri, Jl. KH Wahid Hasyim No 6, Kediri 64114

\*Corresponding author: kirana\_shofi@yahoo.com

Naskah Diterima: 10 Februari 2017; Direvisi: 1 Mei 2017; Disetujui: 22 Mei 2017

#### Abstrak

Logam berat banyak digunakan dalam kehidupan manusia, di antaranya Hg, Pb, Cr, Zn, dan Ag. Di antara logam tersebut, logam perak (Ag) banyak digunakan oleh masyarakat untuk kegiatan sehari-hari, seperti dalam fotografi, untuk pembuatan cermin perak, dan sebagai reagen dalam analisis. Logam perak dapat diperoleh dari senyawa  $\text{AgNO}_3$ . Keberadaan logam perak pada tanaman dapat menghambat proses perkecambahan pada tanaman kacang hijau (*Vigna radiata*), yang ditandai dengan penghambatan pemanjangan sel pada akar. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh daya hambat terhadap pertumbuhan kecambah kacang hijau dan mengetahui konsentrasi hambatan (*Inhibitory Concentration*) dari perak nitrat ( $\text{AgNO}_3$ ). Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa terdapat penghambatan pada pembentukan akar dengan rata-rata penghambatan lebih dari 50% pada konsentrasi 462,27 ppm. Hal ditunjukkan pada panjang akar yang lebih pendek seiring dengan tingginya konsentrasi  $\text{AgNO}_3$ . Hal tersebut dapat disimpulkan bahwa konsentrasi  $\text{AgNO}_3$  berpengaruh pada perkecambahan biji kacang hijau yang ditandai dengan terhambatnya pemanjangan panjang akar kacang hijau.

**Kata kunci:**  $\text{AgNO}_3$ ; Kacang Hijau; Perkecambahan; *Inhibitory Concentration*

#### Abstract

Heavy metals are widely used in human life, including Hg, Pb, Cr, Zn, and Ag. Among these metals, silver is widely used for human daily activities, such as in photography, for the manufacture of silver mirror, and as reagents in many analysis. Silver metal can be obtained from  $\text{AgNO}_3$  compounds. The presence of silver metal in a plant may inhibit the germination process in the green bean plant (*Vigna radiata*) which is characterized by inhibition of cell lengthening in the root. The aims of this research are to investigate the influence of the inhibitory power to green bean growth and the inhibitory concentration of the silver nitrate ( $\text{AgNO}_3$ ). The result showed that there was inhibition that occurred in the root formation by more than 50% of average inhibition at the concentration of 462.27 ppm. It was shown that the root was shorter in length along with the high concentration of  $\text{AgNO}_3$ . From that phenomenon, it can be assumed that the concentration of  $\text{AgNO}_3$  influenced the germination of green bean seeds that were characterized by the inhibition on the lengthening of their roots.

**Keywords:**  $\text{AgNO}_3$ , Mung bean, Germination, *Inhibitory Concentration*

**Permalink/DOI:** <http://dx.doi.org/10.15408/kauniyah.v10i2.4869>

## PENDAHULUAN

Logam berat termasuk kontaminan yang unik karena tidak dapat mengalami degradasi baik secara biologis maupun kimiawi yang dapat menurunkan kadar racunnya sehingga dampaknya dapat berlangsung sangat lama. Kemungkinan yang terjadi adalah logam akan mengalami transformasi sehingga dapat meningkatkan mobilitas dan sifat racunnya. Hal ini menjadi perhatian karena dapat menjadi potensi polusi pada permukaan tanah maupun air tanah dan dapat menyebar ke daerah sekitarnya melalui air, penyerapan oleh tumbuhan dan bioakumulasi pada rantai makanan.

Logam perak (Ag) merupakan logam yang banyak digunakan oleh masyarakat untuk perabotan rumah tangga, perhiasan, dan pembuatan gigi tiruan. Selain mempunyai banyak manfaat, ternyata logam perak mempunyai dampak negatif. Dampak negatif pada manusia antara lain pusing, mual, keram perut dampak kronis terjadinya kerusakan organ jaringan seperti gangguan ginjal dan *liver* (Sekarwati, Murachman, & Sunarto, 2015). Logam Ag dapat diperoleh dari senyawa perak nitrat ( $\text{AgNO}_3$ ), yang digunakan dalam banyak keperluan, seperti dalam fotografi, untuk pembuatan cermin perak, dan sebagai reagen dalam analisis (Sianipar, 2011). Keberadaan logam Ag pada tumbuhan dapat menghambat pertumbuhan tanaman, pembentukan tunas, dan perkecambahan biji. Berdasarkan penelitian Ratnasari (2010) penambahan  $\text{AgNO}_3$  ke dalam media kultur jaringan dapat menghambat pertumbuhan kalus menjadi tunas dan mengurangi jumlah tunas yang terbentuk, tetapi dapat mencegah terjadinya *browning* pada tanaman *Jatropha curcas*.

Nanopartikel merupakan material yang memiliki ukuran 1 sampai 100 nanometer (Laxman *et al.*, 2016). Material logam Ag dengan ukuran nano dapat menghambat perkecambahan biji, pertumbuhan akar, dan pertumbuhan tunas tanaman *Oryza sativa*, *Brassica campestris*, dan *Vigna radiata* (Mazumdar & Ahmed, 2011). Selain itu, adanya logam perak pada tanaman dapat mengganggu proses fotosintesis, mengurangi pertumbuhan sel, dan produksi klorofil yang berakibat tanaman kekurangan nutrisi dan mati

(Navarro *et al.*, 2008; Prasad *et al.*, 2016). Logam Ag dapat mempengaruhi struktur kromosom pada sel ujung akar *Allium cepa* dan *Vicia faba* hanya pada konsentrasi yang lebih tinggi dari 10 mg/L (Kumari *et al.*, 2009; Ravindran *et al.*, 2012). Peran kromosom dalam pertumbuhan adalah sebagai pembelahan sel. Pembelahan sel yang terganggu menyebabkan proses pemanjangan selnya akan terganggu termasuk pembentukan akar.

Salah satu cara penghitungan penghambatan logam terhadap pertumbuhan tanaman dengan mengetahui nilai *Inhibitory Concentration* (IC). Penghambatan logam Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, dan Zn terhadap pertumbuhan selama 72 jam dengan nilai IC tertinggi pada Zn 75% (Alves *et al.*, 2017). Penghambatan logam perak pada tanaman didapatkan hasil sebesar 50%, dengan nilai  $\text{IC}_{50}$  (Sebaugh, 2011).

Salah satu tanaman yang dapat terganggu oleh adanya logam perak adalah kacang hijau. Kacang hijau (*V. radiata*) merupakan tanaman kacang-kacangan (*Fabaceae*) yang tahan akan kekeringan, sehingga mempunyai potensi besar untuk dikembangkan. Tanaman kacang hijau banyak dimanfaatkan rakyat Indonesia, karena banyak mengandung zat-zat gizi, antara lain: amilum, protein, besi, belerang, kalsium, minyak lemak, mangan, magnesium, niasin, vitamin (B1, A, dan E). Manfaat lain dari tanaman ini adalah dapat digunakan untuk pengobatan hepatitis, terkilir, beri-beri, demam nifas, pemulihan kesehatan, dan kurang darah (Atman, 2007). Selain itu, pemilihan biji kacang hijau sebagai tanaman model karena biji ini memenuhi kriteria-kriteria sebagai organisme uji, yaitu tersedia dalam jumlah melimpah di alam, mudah didapat, memiliki pertumbuhan yang cepat dan harga terjangkau.

Berdasarkan latar belakang tersebut, kacang hijau merupakan tanaman budidaya yang bernilai ekonomis dan memiliki banyak manfaat. Untuk mendapatkan hasil panen yang maksimal pada penanaman kacang hijau, maka faktor-faktor penghambat pertumbuhan harus dikendalikan salah satunya adanya logam berat Ag. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh daya hambat terhadap pertumbuhan kecambah kacang hijau dan mengetahui konsentrasi hambatan dari perak nitrat ( $\text{AgNO}_3$ ).

## MATERIAL DAN METODE

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah biji kacang hijau varietas virma yang diperoleh dari Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi Kendalpayak Malang sebanyak 10 biji setiap perlakuan. Logam perak yang digunakan adalah AgNO<sub>3</sub> yang diencerkan dengan akuades.

### Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen dengan rancangan acak kelompok. Konsentrasi larutan AgNO<sub>3</sub> sebagai perlakuan yang digunakan meliputi 900 ppm, 700 ppm, 500 ppm, 300 ppm, 100 ppm, dan 0 ppm sebagai kontrol. Masing-masing perlakuan diulang 3 kali. Biji kacang hijau ditumbuhkan pada cawan petri dengan medium larutan AgNO<sub>3</sub> pada konsentrasi 1000 ppm, 100 ppm, 10 ppm, 1 ppm dan kontrol yang tidak mengandung AgNO<sub>3</sub>.

### Preparasi Biji Kacang Hijau

Biji kacang hijau disortir berdasarkan penampakannya yaitu tidak berlubang. Biji direndam dalam air selama 5 menit untuk menguji apakah biji masih baik atau tidak. Sebanyak 10 biji ditata di atas kapas yang telah ditambahkan larutan AgNO<sub>3</sub> dengan konsentrasi yang berbeda pada setiap cawan petri. Cawan petri diletakkan dalam ruang terbuka dengan pencahayaan lampu yang intensif selama 24 jam. Selanjutnya dilakukan pengamatan. Parameter pengamatan antara lain panjang akar setelah terjadi perkecambahan dan persentase biji yang berkecambah. Pengamatan dilakukan selama 3 hari.

### Analisis Data

Data dianalisis berdasarkan persen penghambatannya dari tiap konsentrasi dengan rumus:

$$\text{Persen Penghambatan} = 100 - \frac{\text{Rerata Panjang Akar yang Diberi Perlakuan}}{\text{Rerata Panjang Akar Kontrol}}$$

Kemudian besar persen penghambatan dikonversi ke nilai probith dan ditampilkan dalam grafik probith dan nilai regresinya. Grafik probith menggambarkan hubungan antara konsentrasi AgNO<sub>3</sub> dengan nilai probithnya dalam persamaan linear. Ber-

dasarkan persamaan tersebut dapat dihitung IC<sub>50</sub> (*Inhibitory Concentration 50*) AgNO<sub>3</sub> berdasarkan persamaan linear yang telah dihitung sebelumnya, dengan cara memasukan nilai probit 50 kedalam persamaan linier yang telah diperoleh sebelumnya. IC<sub>50</sub> menghambatkan 50% AgNO<sub>3</sub> yang dapat menghambat panjang akar kecambah kacang hijau. Data hasil pengamatan berupa panjang akar kecambah kacang hijau yang berkecambah dianalisis menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA). Jika terjadi pengaruh nyata dilakukan dengan uji *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf kepercayaan 5%. Analisis statistik berupa ANOVA dan nilai regresi dianalisis dengan menggunakan aplikasi SPSS 17.

## HASIL

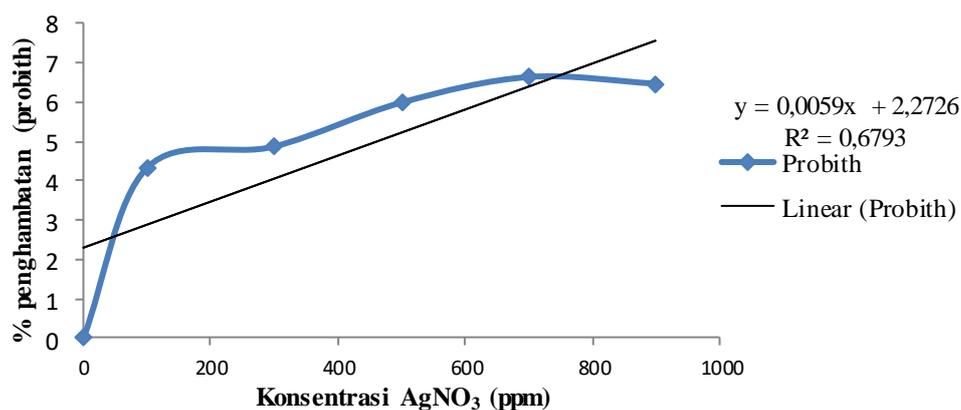
Hasil uji pendahuluan menunjukkan bahwa pada kontrol, biji kacang hijau dapat berkecambah seluruhnya. Pada medium yang ditambah AgNO<sub>3</sub> biji kacang hijau menunjukkan perkecambahan dengan panjang akar yang bervariasi. Konsentrasi AgNO<sub>3</sub> berpengaruh terhadap panjang akar kecambah kacang hijau (Tabel 1). Semakin tinggi konsentrasi AgNO<sub>3</sub> akan menghambat pemanjangan akar. Berdasarkan analisis DMRT diketahui bahwa pemaparan AgNO<sub>3</sub> konsentrasi 900 ppm (0,27 cm), 700 ppm (0,18 cm), dan 500 ppm (0,64 cm) tidak berbeda nyata, namun berbeda nyata pada konsentrasi 300 ppm (2,22 cm), 100 ppm (3,01 cm), dan kontrol (4,01 cm). Hal ini berarti terdapat pengaruh konsentrasi AgNO<sub>3</sub> terhadap perkecambahan biji kacang hijau.

Gambar 1 memperlihatkan bahwa semakin tinggi konsentrasi AgNO<sub>3</sub> yang diberikan, semakin tinggi pula tingkat penghambatan terhadap perkecambahan biji kacang hijau. Nilai regresi sebesar 0,6337 menunjukkan bahwa persamaan linear tersebut kurang signifikan kebenarannya, sebab nilai R<sup>2</sup> kurang dari 0,99. Berdasarkan grafik tersebut dapat dihitung nilai IC<sub>50</sub>. Berdasarkan perhitungan nilai IC<sub>50</sub> diperoleh nilai IC<sub>50</sub> sebesar 462.27 ppm Hal tersebut berarti bahwa dengan konsentrasi 462.27 ppm sudah dapat memberikan penghambatan terhadap panjang akar kacang hijau sebesar 50%.

**Tabel 1.** Panjang akar biji kacang hijau setelah terpapar AgNO<sub>3</sub>

Konsentrasi AgNO <sub>3</sub> (ppm)	Rerata Panjang Akar Setelah Terpapar AgNO <sub>3</sub> (cm)	Persen Penghambatan (%)
0	4,01 <sup>d</sup>	0
100	3,01 <sup>c</sup>	25
300	2,22 <sup>b</sup>	45
500	0,64 <sup>a</sup>	84
700	0,18 <sup>a</sup>	95
900	0,27 <sup>a</sup>	93

Kerangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan berpengaruh nyata ( $P > 0,05$ ) pada uji DMRT taraf 5%,  $n=3$

**Gambar 1.** Grafik Persamaan Linier Penghambatan Panjang Akar Kecambah Kacang Hijau oleh AgNO<sub>3</sub>

## PEMBAHASAN

Perkecambah merupakan suatu proses awal pada biji untuk memulai pertumbuhan menjadi tanaman dewasa. Perkecambahan melibatkan empat proses utama yaitu imbibisi, formasi sistem enzim, inisiasi pembentukan organ, dan pembentukan tunas hingga muncul dari permukaan tanah (Bewley, 1997; Steinbrecher & Leubner-Metzger, 2017). Organ tumbuhan yang pertama muncul pada proses perkecambahan adalah *radikula* atau akar embrionik sebab akar digunakan untuk absorpsi hara sehingga proses pertumbuhan akan berlanjut. Pada kebanyakan tumbuhan dikotil, hipokotil tumbuh seperti kait dan pertumbuhannya akan mendorong kait tersebut ke atas permukaan tanah. Hipokotil dengan rangsangan cahaya akan tumbuh lurus mengangkat kotiledon dan epikotil. Selanjutnya epikotil menyebarkan daun pertamanya yang mengembang dan menjadi hijau. Kotiledon akan layu dan rontok seiring

dengan berkurangnya endosperm sebagai cadangan makanan yang berada pada kotiledon (Reece *et al.*, 2010).

*Radikula* atau akar embrionik adalah organ pertama yang muncul pada saat biji berkecambah. Oleh sebab itu, pada penelitian ini digunakan akar sebagai parameter untuk mengetahui penghambatan perkecambahan yang disebabkan oleh adanya AgNO<sub>3</sub> pada media tanam. Pada awal preparasi biji, salah satu cara untuk mensortir biji adalah dengan perendaman di dalam air. Biji yang rusak biasanya akan terapung di permukaan air. Pada saat ini pula, terjadi imbibisi air ke dalam biji kacang hijau. Imbibisi air menyebabkan biji mengembang dan memecahkan kulit pembungkusnya dan memicu perubahan metabolik pada embrio yang menyebabkan biji melanjutkan pertumbuhan. Enzim-enzim akan menguraikan bahan-bahan organik yang disimpan dalam endosperm atau kotiledon (Reece *et al.*, 2010).

Logam perak merupakan logam yang banyak digunakan oleh masyarakat. Adanya logam perak mempunyai dampak negatif dan positif. Adanya dampak negatif dari logam perak tergantung pada berbagai faktor seperti konsentrasi, spesies tanaman, dan adsorpsi material. Selain itu juga, interaksi biomolekul lingkungan dan logam perak mempengaruhi toksisitas dari logam perak terhadap tanaman (Ravindran *et al.*, 2012).

Berdasarkan hasil penelitian dapat diketahui bahwa adanya AgNO<sub>3</sub> pada media tanam dapat mempengaruhi proses perkecambahan dengan ditandai dengan terhambatnya pemanjangan akar kacang hijau. Hal tersebut dapat dilihat dari hasil pengamatan, bahwa semakin tinggi konsentrasi AgNO<sub>3</sub> panjang akar kacang hijau yang berkecambah semakin pendek. Hal tersebut diperkuat dengan hasil analisis ANOVA bahwa semakin tinggi konsentrasi AgNO<sub>3</sub> berpengaruh pada panjang akar kacang hijau. Sebab adanya logam perak yang terkandung pada AgNO<sub>3</sub> dapat menghambat atau merusak dinding sel, sehingga proses pemanjangan sel akan terganggu yang berakibat pada pemanjangan akar akan terganggu.

Berdasarkan perhitungan persentase penghambatan AgNO<sub>3</sub> terhadap perkecambahan kacang hijau sebesar 50% yaitu pada konsentrasi AgNO<sub>3</sub> sebesar 462.27 ppm, yang artinya pada konsentrasi tersebut sudah mampu menghambat perkecambahan kacang hijau sebesar 50 persen. Hal tersebut didukung oleh penelitian Mazumdar & Ahmed (2011) menyatakan nanopartikel logam perak dapat menghambat perkecambahan biji, pertumbuhan akar, dan pertumbuhan tunas tanaman *O. sativa*, *B. campestris*, dan *V. radiata*. Adanya Ag pada proses perkecambahan akan menghambat produksi auksin sehingga proses pemanjangan sel akan terganggu yang berakibat pada terganggunya pementukan akar (Gusev *et al.*, 2016). Hal tersebut diperkuat dengan penelitian Krishnaraj *et al.* (2012) yang menyatakan bahwa adanya logam perak dapat merusak jaringan akar berupa rusaknya airenkim, perubahan dan ukuran dari xilem. Kerusakan tersebut mengakibatkan distribusi air terganggu yang berakibat pada pasokan air pada sel berkurang dan mengganggu proses pembentangan sel

akar sehingga dapat mempengaruhi pemanjangan akar tanaman kacang hijau.

Toksisitas AgNO<sub>3</sub> dapat memicu adanya ROS (*reactive oxygen species*) yang dapat meningkatkan aktivitas enzim peroksidase dan superoksida dismutase. Hal tersebut berdampak pada meningkatnya kadar fenol yang mengakibatkan pada menurunnya tingkat perkecambahan biji. Pernyataan tersebut didukung hasil penelitian Yasur & Rani (2013) yang menyatakan bahwa adanya logam perak dapat memicu meningkatnya aktivitas enzim peroksidase dan superoksida dismutase pada tanaman jarak dan dapat meningkatkan produksi dari fenol. Selain itu juga, adanya ion perak pada tanaman dapat menggantikan peran dari ion tembaga. Ion tersebut berguna sebagai reseptor dari protein dalam sintesis etilen. Akibatnya produksi etilen akan terhambat yang berakibat pada penurunan pemanjangan sel. Hal tersebut diperkuat dengan penelitian Ouma *et al.* (2004) melaporkan bahwa adanya AgNO<sub>3</sub> dapat menghambat biosintesis etilen dan menyebabkan regenerasi beberapa tunas dari bagian hipokotil kapas juga terhambat. Oleh sebab itu, perlu diwaspadai adanya logam perak di daerah pertanian karena dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman dan menurunkan produktivitas dari tanaman yang tercemar logam perak.

Toksisitas logam Ag pada pekecambahan biji mempengaruhi diferensiasi sel dan indeks mitosis yaitu ganggung pada saat pembelahan akar dan mengubah ekspresi gen yang terkait dengan pertumbuhan akar (Kumari *et al.*, 2009). Adanya hambatan tersebut menyebabkan pemanjangan sel akar terganggu, hal tersebut dikarenakan rusaknya dinding sel dan vakuola sel akibat adanya logam Ag. Hal tersebut diperkuat dengan penelitian Mazumdar & Ahmed (2011a); Nair & Chung, (2014) menyatakan bahwa adanya logam Ag pada media tanam dapat merusak dinding sel dan vakuola pada tanaman padi yang berakibat pada penurunan pemanjangan akar yang signifikan serta bobot tunas dan akar padi. Selain itu, adanya logam Ag yang ikut terserap oleh tanaman dapat mengurangi kandungan magnesium, fosfor, dan sulfur yang berakibat proses pembentukan akar akan terganggu (Rizwan *et al.*, 2017; Vittori *et al.*, 2015).

**KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa AgNO<sub>3</sub> berpengaruh pada perkecambah biji kacang hijau dengan konsentrasi AgNO<sub>3</sub> yang dapat menghambat lebih dari 50% sebesar 462.27 ppm. Hal tersebut terlihat pada biji kacang hijau yang banyak tidak berkecambah bila melebihi konsentrasi tersebut yang ditandai dengan semakin pendek panjang akar kecambah kacang hijau.

**REFERENSI**

- Alves, C. M., Ferreira, C. M. H., Soares, E. V., & Soares, H. M. V. M. (2017). A multi-metal risk assessment strategy for natural freshwater ecosystems based on the additive inhibitory free metal ion concentration index. *Environmental Pollution*, 223, 517–523. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.01.053>
- Atman. (2007). Teknologi Budidaya Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.) Di Lahan Sawah. *Jurnal Ilmiah Tambua*, 6(1), 89–95.
- Bewley, J. D. (1997). Seed Germination and Dormancy. *The Plant Cell Online*, 9(7), 1055–1066. <https://doi.org/10.1105/tpc.9.7.1055>
- Gusev, A. A., Kudrinsky, A. A., Zakharova, O. V., Klimov, A. I., Zhrebina, P. M., Lisichkin, G. V., ... Krutyakov, Y. A. (2016). Versatile synthesis of PHMB-stabilized silver nanoparticles and their significant stimulating effect on fodder beet (*Beta vulgaris* L.). *Materials Science and Engineering C*, 62, 152–159. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2016.01.040>
- Krishnaraj, C., Jagan, E. G., Ramachandran, R., Abirami, S. M., Mohan, N., & Kalaichelvan, P. T. (2012). Effect of biologically synthesized silver nanoparticles on *Bacopa monnieri* (Linn.) Wettst. plant growth metabolism. *Process Biochemistry*, 47(4), 651–658. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2012.01.006>
- Kumari, M., Mukherjee, A., & Chandrasekaran, N. (2009). Genotoxicity of silver nanoparticles in *Allium cepa*. *Science of the Total Environment*, 407(19), 5243–5246. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.06.024>
- Laxman, V., Larios, A. D., Cledón, M., Kaur, S., Verma, M., & Surampalli, R. Y. (2016). Science of the Total Environment Behavior and characterization of titanium dioxide and silver nanoparticles in soils. *Science of the Total Environment*, 563–564, 933–943. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.090>
- Mazumdar, H., & Ahmed, G. U. (2011a). Phytotoxicity effect of silver nanoparticles on *Oryza sativa*. *International Journal of ChemTech Research*, 3(3), 1494–1500.
- Mazumdar, H., & Ahmed, G. U. (2011b). Synthesis of Silver Nanoparticles and Its Adverse Effect on Seed Germinations in *Oryza sativa*, *Vigna radiata* and *Brassica campestris*. *International Journal of Advanced Biotechnology and Research*, 2(4), 404–413.
- Nair, P. M. G., & Chung, I. M. (2014). Physiological and molecular level effects of silver nanoparticles exposure in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. *Chemosphere*, 112, 105–113. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.03.056>
- Navarro, E., Wagner, B., Marconi, F., Kaegi, R., Odzak, N., Box, P. O., ... Behra, R. (2008). Toxicity of silver nanoparticles to *Chlamydomonas reinhardtii*. *Environmental Science & Technology*, 42(23), 8959–64. <https://doi.org/10.1021/es801785m>
- Ouma, J. P., Young, M. M., & Reichert, N. A. (2004). Optimization of in vitro regeneration of multiple shoots from hypocotyl sections of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *African Journal of Biotechnology*, 3(March), 169–173.
- Prasad, T., Adam, S., Rao, P., Reddy, B., & Krishna, T. (2016). Size dependent effects of antifungal phytochemical silver nanoparticles on germination, growth and biochemical parameters of rice (*Oryza sativa* L), maize (*Zea mays* L). *IET Nanobiotechnology*, 1–9. <https://doi.org/10.1049/iet-nbt.2015.0122>

- Ratnasari, S. (2010). Pengaruh penambahan silver nitrat ( $\text{AgNO}_3$ ) dalam media murashige skoog (MS) terhadap daya regenerasi kotiledon dua genotipe jarak pagar (*Jatropha curcas L.*). Universitas Negeri Malang, Malang.
- Ravindran, A., Prathna, T. C., Verma, V. K., Chandrasekaran, N., & Mukherjee, A. (2012). Bovine serum albumin mediated decrease in silver nanoparticle phytotoxicity: root elongation and seed germination assay. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 94(1), 91–98. <https://doi.org/10.1080/02772248.2011.617034>
- Reece, J. B., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Jackson, R. B. (2010). *Campbell Biology* (9th ed.). Redwood City England: Benjamin Cummings Publishing Company Inc.
- Rizwan, M., Ali, S., Qayyum, M. F., Ok, Y. S., Adrees, M., Ibrahim, M., ... Abbas, F. (2017). Effect of metal and metal oxide nanoparticles on growth and physiology of globally important food crops: A critical review. *Journal of Hazardous Materials*, 322, 2–16. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.05.061>
- Sebaugh, J. L. (2011). Guidelines for accurate EC50/IC50 estimation. *Pharmaceutical Statistics*, 10(2), 128–134. <https://doi.org/10.1002/pst.426>
- Sekarwati, N., Murachman, B., & Sunarto. (2015). Dampak logam berat Cu (Tembaga) dan Ag (Perak) pada limbah cair industri perak terhadap kualitas air sumur dan kesehatan masyarakat serta upaya pengendaliannya di Kota Gede Yogyakarta. *EKOSAINS*, 7(1), 64–76.
- Sianipar, B. S. (2011). Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Ultra Pure Perak Nitrat dari Perak Mentah dan Asam Nitrat. Universitas Sumatera Utara Medan.
- Steinbrecher, T., & Leubner-Metzger, G. (2017). The biomechanics of seed germination. *Journal of Experimental Botany*, 68(4), 765–783. <https://doi.org/10.1093/jxb/erw428>
- Vittori Antisari, L., Carbone, S., Gatti, A., Vianello, G., & Nannipieri, P. (2015). Uptake and translocation of metals and nutrients in tomato grown in soil polluted with metal oxide ( $\text{CeO}_2$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ) or metallic (Ag, Co, Ni) engineered nanoparticles. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(3), 1841–1853. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3509-0>
- Yasur, J., & Rani, P. U. (2013). Environmental effects of nanosilver: Impact on castor seed germination, seedling growth, and plant physiology. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(12), 8636–8648. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-1798-3>