

Potensi Nanopartikel dalam Agromedicine

Elizabeth Ruttina Hutagaol¹, Nurul Utami²

¹Mahasiswa, Fakultas Kedokteran, Universitas Lampung

²Bagian Histologi, Fakultas Kedokteran, Universitas Lampung

Abstrak

Agromedicine adalah hubungan antara profesional medis dan pertanian untuk mempromosikan kesehatan dan keselamatan keluarga petani, pekerja pertanian, dan konsumen produk pertanian. Salah satu fokus *agromedicine* adalah pada orang-orang yang terkena atau berpotensi terpapar pestisida. Hal ini diakibatkan masih banyaknya kesalahan yang terjadi dalam pertanian sehingga menyebabkan munculnya masalah kesehatan. Nanoteknologi merupakan ilmu dan rekayasa dalam penciptaan material, struktur fungsional, maupun piranti dalam skala nanometer. Nanoteknologi tidak hanya sebatas bagaimana cara menghasilkan material atau partikel yang berukuran nanometer, melainkan memiliki pengertian yang lebih luas termasuk bagaimana cara memproduksi serta mengetahui kegunaan sifat baru yang muncul dari material nano yang telah dibuat. Nanoteknologi berpotensi mengubah keseluruhan skenario industri pertanian dan makanan saat ini dengan bantuan alat baru yang dikembangkan untuk pengobatan penyakit tanaman, deteksi cepat patogen menggunakan *kit* berbasis nano, meningkatkan kemampuan tanaman untuk menyerap nutrisi. Pemberantasan hama hingga saat ini menggunakan pestisida dan agen biologis. Kesuburan karena kelebihan penggunaan dan pembunuhan mikroflora tanah yang bermanfaat membuat peneliti beralih ke pencarian agen potensial baru melawan hama serangga. Peneliti sudah membuktikan keefektifan nanopartikel dapat digunakan sebagai sistem pengiriman yang efisien dari pestisida yang larut dalam air. Nanoteknologi memiliki potensi merevolusi berbagai sektor industri pertanian dan makanan dengan alat modern untuk pengobatan penyakit, deteksi penyakit yang cepat dan meningkatkan kemampuan tanaman.

Kata Kunci: *agromedicine*, hama, nanoteknologi, pestisida

Potency of Nanoparticles in Agromedicine

Abstract

Agromedicine is the relationship between medical and agricultural to promote the health and safety of farm families, agricultural workers, and consumers of agricultural products. Agromedicine focuses on people exposed to or potentially exposed to pesticides. This is due to the many errors that occur in agriculture, causing health problems. Nanotechnology is a science and engineering in the form of materials, functional structures, and devices in the nanometer scale. Nanotechnology is not only limited to how to produce nanometer-sized materials or particles, soaring has a broader understanding including how to produce and know the usefulness of new properties emerging from nanomaterials that have been made. Nanotechnology can develop of food crops and plant ability to absorb nutrients. The current pest eradication uses pesticides and biological agents. The fertility due to excessive use and murder of soil microflora is beneficial for researchers turning to the search for new potential agents against insect pests. Researchers have proven the effectiveness of nanoparticles can be used as efficient delivery systems of air-soluble pesticides for their controlled release. Nanotechnology has the potential to revolutionize the various sectors of the agricultural and food industries with modern tools for the treatment of diseases, rapid disease detection, enhancing the ability of plants.

Keywords: agromedicine, nanotechnology, pesticide, pests

Korespondensi: Elizabeth Ruttina, Jl. Abdul Muis IX no 45, Bandar Lampung, email: elizabethruttina8@gmail.com, Hp082230484378

Pendahuluan

Hubungan antara profesional medis dan bidang pertanian yang bertujuan mempromosikan kesehatan dan keselamatan disebut *agromedicine*. Salah satu fokus *agromedicine* adalah pada orang-orang yang terpapar dan yang berpotensi terkena pestisida. Terdapat tiga fokus utama dalam *agromedicine* yaitu untuk mengurangi cedera traumatik, eksposur paru dan cedera

agrochemical. Hal ini diakibatkan masih banyaknya kesalahan yang terjadi dalam pertanian sehingga menyebabkan munculnya masalah kesehatan. Menurut data WHO terdapat 600.000 kasus kesehatan bidang pertanian. Selain itu, angka kematian sebanyak 60.000 yang terjadi di India diakibatkan oleh paparan pestisida baik secara langsung maupun tidak langsung. Hal ini terjadi pada

perempuan, anak-anak, pekerja sektor informal, serta petani. Di samping itu, penggunaan pestisida di Indonesia juga cukup tinggi. Pada tahun 2014 tercatat sekitar 1.790 formulasi dan 602 bahan aktif pestisida telah didaftarkan untuk mengendalikan hama diberbagai bidang komoditi.¹⁻³

Menurut data Dinas Kesehatan Jawa Tengah pada tahun 2008 di Indonesia sendiri banyak terjadi kasus keracunan. Kulon Progo Jawa Tengah, pada tahun 2008 terjadi 210 kasus keracunan dengan pemeriksaan fisik dan klinis, 50 orang diantaranya diperiksa laboratorium dengan hasil 15 orang (30%) keracunan. Diperlukan langkah baru untuk mengurangi angka kejadian keracunan pestisida dengan menggunakan nanoteknologi.⁴

Isi

Nanoteknologi merupakan pengetahuan dan kontrol material pada skala nano dalam dimensi antara 1-100 nanometer. Nanoteknologi juga memiliki pengertian yang lebih luas termasuk bagaimana cara memproduksi serta mengetahui kegunaan sifat baru yang muncul dari material nano yang telah dibuat. Nanoteknologi merupakan fenomena unik yang dapat diaplikasikan dalam bidang teknologi informasi, farmasi dan kesehatan, pertanian, industri. Di antara nanopartikel logam, nanopartikel perak banyak mendapat perhatian karena sifat fisik dan kimianya.¹

Nanoteknologi berpotensi mengubah keseluruhan skenario industri pertanian dan makanan saat ini dengan bantuan alat baru yang dikembangkan untuk pengobatan penyakit tanaman, deteksi cepat patogen menggunakan *kit* berbasis nano, meningkatkan kemampuan tanaman untuk menyerap nutrisi dan lain-lain. Nanobiosensor dan sistem pengiriman cerdas lainnya juga akan membantu industri pertanian untuk melawan patogen tanaman yang berbeda. Diasumsikan bahwa dalam waktu dekat katalis berstruktur nano akan tersedia untuk meningkatkan khasiat pestisida dan insektisida yang tersedia secara komersial dan juga mengurangi tingkat dosis yang dibutuhkan untuk tanaman tanaman.³

Nanoteknologi diwakili oleh dua pendekatan yang berbeda, *top-down* dan *bottom-up*. *Top-down* mengacu pada

pembuatan struktur nano dari struktur terkecil dengan teknik permesinan, templesi dan litograf, misalnya aplikasi fotonik dalam nanoelectronics dan nanoengineering. *Bottom-up*, atau molecular nanoteknologi, berlaku untuk membangun bahan organik dan anorganik ke dalam struktur yang didefinisikan, atom oleh atom atau molekul oleh molekul, seringkali oleh *self-assembly* atau *self-organization*, yang dapat diterapkan dalam beberapa proses biologis. Ahli biologi dan ahli kimia secara aktif terlibat dalam sintesis Nanomaterials anorganik, organik, hibrida dan logam termasuk berbagai jenis nanopartikel yang memiliki sifat yang tidak biasa seperti optik, fisik, biologi, dan sebagainya. Karena sifat ini, nanopartikel memiliki banyak aplikasi di berbagai bidang seperti elektronik, obat-obatan, farmasi, teknik dan pertanian.⁵⁻⁶

Pestisida sering membunuh musuh alami bersama dengan hama. Dengan musuh alami dihilangkan, sulit untuk mencegah populasi hama yang dipulihkan kembali. *Asam diklorodipeniltrichloroasetat* (DDT) menjadi populer penggunaannya dan meningkat pesat sehingga menghasilkan peningkatan hasil panen, namun di sisi lain, dampak buruknya terhadap lingkungan dan kesehatan manusia juga segera menjadi jelas. Pada awal 1960-an, kekhawatiran publik tentang efek ini digantikan oleh Rachel Carson dalam '*Silent Spring*' klasiknya, yang diterbitkan pada tahun 1962. Kesuburan karena kelebihan penggunaan dan pembunuhan mikroflora tanah yang bermanfaat, peneliti beralih ke pencarian agen potensial baru melawan hama serangga yang memiliki efek samping minimal atau tidak ada sama sekali.⁷

Selain itu, banyak agen biologis telah digunakan untuk biokontrol hama serangga, namun hanya bakteri dan jamur yang paling penting. Bakteri yang digunakan untuk pengendalian biologis menginfeksi serangga melalui saluran pencernaannya. *Bacillus thuringiensis* adalah spesies bakteri yang paling banyak digunakan untuk pengendalian biologis *lepidopteran* (ngengat, kupu-kupu), *coleopteran* (kumbang) dan *dipteran* (lalat sejati). Jamur yang menyebabkan penyakit atau infeksi pada serangga dikenal sebagai jamur entomopatogen, termasuk setidaknya 14 spesies jamur *entomophthoraceous* menyerang kutu daun. Spesies genus *Trichoderma* digunakan untuk mengelola beberapa patogen

tanaman yang ditanami tanah. Tetapi karena keterbatasan dari agen biologis, peneliti beralih ke pencarian agen potensial untuk melawan hama.⁸

Studi sebelumnya memastikan bahwa nanopartikel logam efektif melawan patogen, serangga, dan hama tanaman. Oleh karena itu, nanopartikel dapat digunakan dalam persiapan formulasi baru seperti pestisida, insektisida dan pengusir serangga.⁹ Torney¹⁰ mengkaji ulang bahwa nanoteknologi memiliki aplikasi yang menjanjikan dalam transfer gen (DNA) nanopartikel. Ini dapat digunakan untuk mengirimkan DNA dan bahan kimia lain yang diinginkan ke dalam jaringan tanaman untuk melindungi tanaman inang terhadap hama serangga.¹⁰

Nanopartikel silika berongga berpori (PHSN) yang dimuat dengan validamycin (pestisida) dapat digunakan sebagai sistem pengiriman yang efisien dari pestisida yang larut dalam air untuk pelepasan terkontrolnya. Perilaku pelepasan PHSN yang terkendali menjadikannya pembawa yang menjanjikan di bidang pertanian, terutama untuk pengiriman terkontrol pestisida yang pelepasannya segera dan juga diperlukan untuk tanaman.¹¹ Menurut Wang *et al.*¹² minyak dalam air (nano-emulsi) berguna untuk formulasi pestisida dan ini bisa efektif melawan berbagai hama serangga di bidang pertanian.

Demikian pula, partikel padat yang dimuat nanopartikel yang mengandung lipida juga berguna untuk formulasi pestisida nano.¹¹ Nano-silika, sejenis nanomaterial memiliki banyak aplikasi dalam pengembangan obat-obatan dan sebagai katalis sehingga dapat digunakan sebagai pestisida nano. Mekanisme pengendalian hama serangga menggunakan silika nano didasarkan pada fakta bahwa hama serangga menggunakan berbagai lipida tiroid untuk melindungi penghalang air mereka dan dengan demikian mencegah kematian akibat pengeringan. Tapi nano-silika terserap ke dalam lipida kutikular oleh fisiosorpsi dan dengan demikian menyebabkan kematian serangga murni dengan cara fisik bila diaplikasikan pada daun dan permukaan batang. Permukaan yang dibebankan pada silika nano hidrofobik yang dimodifikasi (3-5 nm) dapat berhasil digunakan untuk mengendalikan hama serangga pertanian dan ektoparasit hewan dari kepentingan hewan.¹³

Yang *et al.*¹⁴ menunjukkan aktivitas insektisida dari nanopartikel berlapis polietilena glikol yang mengandung minyak esensial bawang putih terhadap serangga *Tribane castaneum* dewasa yang ditemukan pada produk yang tersimpan. Telah diamati bahwa khasiat kontrol terhadap *T. castaneum* dewasa sekitar 80%, mungkin karena pelepasan komponen aktif yang lambat dan terus menerus dari partikel nano.¹⁴

Goswami¹⁵ mempelajari aplikasi berbagai jenis nanopartikel yaitu nanopartikel perak (SNP), aluminium oksida (ANP), seng oksida dan titanium dioksida dalam pengendalian penyakit kumbang padi dan penyakit rumput pada ulat sutera (*Bombyx mori*) yang disebabkan oleh *Sitophilus oryzae* dan *baculovirus* BmNPV (*virus mars nuclear polyhedrosis*). Dalam studi mereka melakukan *bioassay*, dimana mereka mempersiapkan formulasi padat dan cair dari nanopartikel. Kemudian, mereka menerapkan formulasi ini pada beras dan disimpan dalam kotak plastik dengan 20 jenis *S. oryzae* dan mengamati pengaruhnya selama 7 hari. Dilaporkan bahwa SNP hidrofilik paling efektif pada hari pertama. Pada hari ke 2, lebih dari 90% mortalitas diperoleh dengan SNP dan ANP. Setelah 7 hari terpapar, 95 dan 86% kematian dilaporkan terjadi pada SNP hidrofilik dan hidrofobik dan hampir 70% serangga terbunuh saat padi diolah dengan lipofilik SNP. Namun, mortalitas 100% diamati pada kasus ANP. Demikian pula, dalam *bioassay* lain yang dibawa untuk penyakit rumput di ulat sutera (*B. mori*), penurunan viral load yang signifikan dilaporkan ketika daun *B. mori* diobati dengan suspensi etanol suspensi nanopartikel alumino-silikat hidrofobik.¹⁵

Bhattacharyya¹⁹ meninjau ulang bahwa nanoteknologi akan merevolusi pertanian termasuk pengelolaan hama dalam waktu dekat. Diperkirakan juga bahwa dalam dua dekade ke depan, 'revolusi hijau' akan dipercepat melalui nanoteknologi. Salah satu contoh teknologi ini adalah nano-enkapsulasi. Saat ini digunakan sebagai pendekatan yang paling penting dan menjanjikan untuk perlindungan tanaman inang terhadap hama serangga. Nano-enkapsulasi mencakup penggunaan berbagai jenis nanopartikel dengan insektisida. Dalam proses ini bahan kimia seperti insektisida perlahan tapi efisien dilepaskan ke tanaman inang khusus untuk

pengendalian hama serangga. Nano-enkapsulasi dengan nanopartikel dalam bentuk pestisida memungkinkan penyerapan yang tepat dari penyakit ke tanaman tidak seperti partikel yang lebih besar.¹⁶

Teodoro *et al*¹⁷ untuk pertama kalinya mempelajari aktivitas insektisida alumina berstruktur nano terhadap dua hama serangga yaitu *S. oryzae* L. dan *Rhizopertha dominica* (F.), yang merupakan hama serangga besar dalam persediaan makanan yang tersimpan di seluruh dunia. Mereka melaporkan kematian yang signifikan setelah tiga hari terpapar terus menerus pada gandum yang diolah alumina berstruktur berstruktur. Oleh karena itu, dibandingkan dengan insektisida yang tersedia secara komersial, alumina berstruktur nano anorganik dapat memberikan alternatif yang murah dan handal untuk mengendalikan hama serangga, dan studi semacam itu dapat memperluas batas-batas untuk teknologi berbasis nanopartikel dalam pengelolaan hama.¹⁷

Nanoteknologi memiliki potensi untuk merevolusi berbagai sektor industri pertanian dan makanan dengan alat modern untuk pengobatan penyakit, deteksi penyakit yang cepat, meningkatkan kemampuan tanaman untuk menyerap nutrisi, dan lain-lain. Sensor cerdas dan sistem pengiriman cerdas akan membantu industri pertanian, virus tempur dan patogen tanaman lainnya. Dalam waktu dekat, katalis berbasis nano akan tersedia yang akan meningkatkan efisiensi pestisida dan herbisida, sehingga dosis lebih rendah dapat digunakan. Nanoteknologi juga akan melindungi lingkungan secara tidak langsung melalui penggunaan pasokan energi alternatif (terbarukan), dan filter atau katalis untuk mengurangi polusi dan membersihkan polutan yang ada.¹⁸ Baru-baru ini, Bhattacharyya *et al.*¹⁹ meninjau aplikasi nanoteknologi di berbagai bidang seperti makanan nano, kemasan *nanofood* dan *nanofarming* dan juga menekankan pada partikel nano dan pengaruhnya terhadap keseimbangan ekologis.¹⁹

Nano-pestisida, nanofungisida dan nanoherbisida dapat digunakan dalam pertanian. Banyak perusahaan membuat formulasi yang mengandung nanopartikel dalam kisaran ukuran 100-250 nm yang mampu larut dalam air lebih efektif daripada yang ada (sehingga meningkatkan

aktivitasnya). Beberapa perusahaan lain menggunakan suspensi partikel nano (emulsi nano), yang dapat berupa air atau minyak dan mengandung suspensi seragam dari partikel nano pestisida atau herbisida dalam kisaran 200-400 nm, yang memiliki beberapa aplikasi untuk tindakan pencegahan, pengobatan atau pelestarian produk panen. Terlepas dari aplikasi penting ini, nanoteknologi dapat digunakan di sektor seperti kemasan makanan, transfer gen untuk perbaikan tanaman, makanan nano, dan lain-lain. Misalnya, perangkat dapat digunakan untuk mengidentifikasi masalah kesehatan tanaman sebelum hal ini terlihat oleh petani. Perangkat semacam itu mungkin bisa merespons situasi yang berbeda dengan melakukan tindakan perbaikan yang sesuai.²⁰

Pertanian adalah tulang punggung sebagian besar negara berkembang, dengan lebih dari 60% penduduk bergantung padanya untuk penghidupan mereka dan juga untuk pengembangan yang lebih baik. Sistem untuk memantau kondisi lingkungan dan memberikan nutrisi atau pestisida yang sesuai, nanoteknologi dapat memperbaiki pemahaman kita tentang biologi tanaman yang berbeda dan dengan demikian berpotensi meningkatkan hasil panen atau nilai gizi. Selain itu, dapat menawarkan rute untuk menambahkan nilai tanaman atau perbaikan lingkungan. Dengan demikian, kita mengurangi angka kejadian keracunan yang diakibatkan oleh penggunaan pestisida secara bebas.²¹⁻²²

Ringkasan

Nanoteknologi merupakan ilmu dan rekayasa dalam penciptaan material, struktur fungsional, maupun piranti dalam skala nanometer. Nanoteknologi tidak hanya sebatas bagaimana cara menghasilkan material atau partikel yang berukuran nanometer, melainkan memiliki pengertian yang lebih luas termasuk bagaimana cara memproduksi serta mengetahui kegunaan sifat baru yang muncul dari material nano yang telah dibuat. Nanopartikel memiliki banyak kegunaan antara lain sebagai detektor, katalis, zat pelapis permukaan, dan antibakteri.¹

Nanoteknologi berpotensi mengubah keseluruhan skenario industri pertanian dan makanan saat ini dengan bantuan alat baru yang dikembangkan untuk pengobatan penyakit tanaman, deteksi cepat patogen

menggunakan kit berbasis nano, meningkatkan kemampuan tanaman untuk menyerap nutrisi.³ Nanobiosensor dan sistem pengiriman cerdas lainnya juga akan membantu industri pertanian untuk melawan patogen tanaman yang berbeda. Pemberantasan hama hingga saat ini menggunakan pestisida dan agen biologis. Penggunaan pestisida sering membunuh musuh alami bersama dengan hama. Kesuburan karena kelebihan penggunaan dan pembunuhan mikroflora tanah yang bermanfaat. Keterbatasan sumber agen biologis membuat persebaran hama sulit ditangani. Peneliti beralih ke pencarian agen potensial baru melawan hama serangga yang memiliki efek samping minimal atau tidak ada sama sekali.¹⁸

Peneliti sudah membuktikan keefektifan nanopartikel seperti nanopartikel logam efektif melawan patogen, serangga, dan hama tanaman. Kemudian, nanopartikel silika berongga berpori (PHSN) yang dimuat dengan validamycin (pestisida) dapat digunakan sebagai sistem pengiriman yang efisien dari pestisida yang larut dalam air untuk pelepasan terkontrolnya.¹¹ Lalu, nanopartikel berlapis polietilena glikol yang mengandung minyak esensial bawang putih terhadap serangga *Tribane castaneum* dewasa yang ditemukan pada produk yang tersimpan. Nanopartikel perak (SNP), aluminium oksida (ANP), seng oksida dan titanium dioksida dalam pengendalian penyakit kumbang padi dan penyakit rumput pada ulat sutera.¹⁵ Nanoteknologi memiliki potensi untuk merevolusi berbagai sektor industri pertanian dan makanan dengan alat modern untuk pengobatan penyakit, deteksi penyakit yang cepat, meningkatkan kemampuan tanaman untuk menyerap nutrisi, dan lain-lain.¹⁸

Simpulan

Nanoteknologi berpotensi merevolusi teknologi yang ada untuk digunakan di berbagai sektor termasuk pertanian. Nanoteknologi mungkin memiliki solusi konkret terhadap banyak masalah terkait pertanian seperti pengelolaan hama serangga dengan menggunakan metode tradisional, efek samping dari pestisida kimia, pengembangan varietas tanaman yang lebih baik, dan lain-lain. Nanomaterial dalam bentuk yang berbeda dapat digunakan untuk pengelolaan hama dan formulasi potensial yang efisien untuk

insektisida dan pestisida. Transfer gen yang dimediasi Nanopartikel akan berguna untuk pengembangan varietas tahan serangga baru. Dapat disimpulkan bahwa nanoteknologi dapat menjadi alternatif pengelolaan hama serangga yang ramah lingkungan tanpa membahayakan alam.

Daftar Pustaka

1. WHO. Poisoning prevention and management [internet]. Tersedia dari: <http://www.who.int>. Diakses tanggal 10 Juni 2019.
2. Shobib MN, Yuantari MC, Suwandi M. Hubungan antara pengetahuan dan sikap dengan praktik pemakaian alat pelindung diri pada petani pengguna pestisida di Desa Curut [skripsi]. Semarang: Universitas Dian Nuswantoro. 2013.
3. Komisi Pestisida. Pedoman teknis kajian pestisida terdaftar dan beredar TA 2014. Direktorat Jendral Prasarana dan Sarana Pertanian; 2014.
4. Dinas Kesehatan Jawa Tengah. Profil kesehatan Kota Jawa Tengah [internet], Jawa Tengah; 2008. Tersedia dari: <http://www.dinkesjatengprov.go.id>. Diakses tanggal 18 Juni 2019.
5. Elibol OH, Morisette DD, Denton JP, Bashir R. Integrated nanoscale silicon sensors using top-down fabrication. *J Appl Phys Lett*, 2003; 83:4613–4615.
6. Salata OV. Application of nanoparticles in biology and medicine. *J Nanobiotechnology*, 2004; 2:1-3.
7. Dhawan AK, Peshin R. Integrated pest management: concept, opportunities and challenges. In: Peshin P, Dhawan AK (eds) *Integrated pest management: innovation-development process*. Springer, Dordrecht, Netherlands, 2009.
8. Frederick BA, Caesar AJ. Analysis of bacterial communities associated with insect biological control agents using molecular techniques. In: Neal R, Spencer NR (eds.) *Proceedings of the XI International Symposium on Biological Control of Weeds*. Montana State University, Bozeman, 2000.
9. Barik TK, Sahu B, Swain V. Nano-silica—from medicine to pest control. *J Parasitol Res*, 2008; 103:253–258.
10. Torney F. Nanoparticle mediated plant transformation. *Emerging technologies in plant science research*. Interdepartmental Plant Physiology Major Fall Seminar Series Phys, 2009.
11. Liu F, Wen LX, Li ZZ, Yu W, Sun HY, Chen JF. Porous hollow silica nanoparticles as controlled delivery system for water-soluble pesticide. *Mat Res Bull*. 2006; 41:2268–2275.

12. Wang L, Li Z, Zhang G, Dong J, Eastoe J. Oil-in-water nanoemulsions for pesticide formulations. *J Colloid Interface Sci*, 2007; 314:230–235.
13. Ulrichs C, Mewis I, Goswami A. Crop diversification aiming nutritional security in West Bengal: biotechnology of stinging capsules in nature's water-blooms. *Ann Tech Issue of State AgriTechnologists Service Assoc*, 2005.
14. Yang FL, Li XG, Zhu F, Lei CL. Structural characterization of nanoparticles loaded with garlic essential oil and their insecticidal activity against *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera:Tenebrionidae). *J Agric Food Chem*, 2009; 57(21):10156–10162
15. Goswami A, Roy I, Sengupta S, Debnath N. Novel applications of solid and liquid formulations of nanoparticles against insect pests and pathogens. *J Thin Solid Films*, 2010; 519:1252–1257.
16. Scrinis G, Lyons K. The emerging nano-corporate paradigm: nanotechnology and the transformation of nature, food and agrifood systems. *Int J Sociol Agri Food*, 2007; 15(2):22–44.
17. Teodoro S, Micaela B, David KW. Novel use of nano-structured alumina as an insecticide. *J Pest Manag Sci*, 2010; 66(6):577–579.
18. Tungittiplakorn W, Cohen C, Lion LW. Engineered polymeric nanoparticles for bioremediation of hydrophobic contaminants. *J Environ Sci Technol*, 2005; 39(5):1354–1358.
19. Bhattacharyya A, Bhaumik A, Usha Rani P, Mandal S, Eidi TT. Nano-particles: a recent approach to insect pest control. *Afr J Biotechnol*, 2010; 9(24):3489–3493.
20. Owolade OF, Ogunletti DO, Adenekan MO. Titanium dioxide affects disease development and yield of edible cowpea. *Elect J Environ Agri Food Chem*, 2008; 7(50):2942–2947.
21. Lin CA. Size matters: regulating nanotechnology. *J Harvard Environ Law Rev*, 2007; 31:350–407.
22. Rai M, Ingle A. Role of nanotechnology in agriculture with special reference to management of insect pests. *Appl Microbiol Biotechnol*, 2012; 94:287-293