

Aplikasi nanoteknologi dalam sektor pertanian dan industri makanan

(Nanotechnology application in agricultural sector and food industry)

Mohd Afendy Abdul Talib




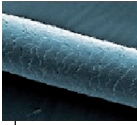

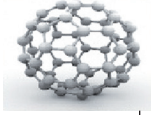

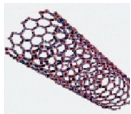
Pengenalan

Nanoteknologi didefinisikan sebagai penghasilan atau penggunaan bahan, alat dan sistem melalui manipulasi bahan pada saiz antara 1 – 100 nanometer (nm). Dalam terminologi saintifik, awalan 'nano' bermaksud satu per bilion atau 10^{-9} . Oleh itu, 1 nanometer (nm) bersamaan 1 per bilion meter atau 10^{-9} meter iaitu bersamaan dengan lebar 6 atom karbon atau 10 molekul air. Sebagai perbandingan, rambut manusia bersaiz lebih kurang 80,000 nm dan sel darah merah lebih kurang 7,000 nm lebar (*Gambar rajah 1*). Apabila digabungkan dengan komponen bioteknologi, nanoteknologi menjadi platform baharu yang berkuasa dengan potensi aplikasi yang amat besar merangkumi bidang pertanian, peranti diagnostik, farmaseutikal baharu, pengimejan perubatan, sensor biologi dan banyak lagi. Pada masa kini, bentuk atau potensi bahan nano yang sedia untuk digunakan dalam aplikasi bioteknologi ialah partikel nano, nanowayar, nanogentian, nanostruktur dan nanomesin.

Industri makanan dan pertanian telah melabur berbilion ringgit dalam penyelidikan nanoteknologi dan dalam masa yang sama produk makanan nano yang tidak berlabel telah berada di pasaran. Dalam senario global, negara maju dan negara membangun sedang melabur terhadap teknologi ini untuk mendapatkan pegangan saham. Pada ketika ini, Amerika Syarikat mendahului dengan pelaburan USD3.7 bilion melalui Inisiatif Nanoteknologi Nasional negara tersebut dan diikuti oleh Kesatuan Eropah dan Jepun masing-masing dengan pelaburan dana USD1.2 bilion dan USD750 juta. Secara perbandingan, tahap dana negara membangun adalah jauh lebih kecil daripada gergasi dunia ini.

Pengkomersialan produk nanobioteknologi mempunyai masa depan yang cerah dan dalam tempoh 10 tahun ini, banyak produk baharu berasaskan teknologi dijangka akan diluluskan dan ada yang telah pun digunakan di serata dunia. Nanoteknologi menyumbang kepada persaingan dan pertumbuhan yang mapan dalam beberapa bidang aplikasi industri.

Ciri-ciri kimia atau/dan fizikal partikel nano memberi fungsi yang berguna dan sedang rancak dieksplotasi pelbagai pihak dalam bidang perubatan, bioteknologi, elektronik, sains bahan dan sektor tenaga. Sektor pertanian juga tidak

MAKRO	MIKRO	NANO
 <p>Manusia (6 kaki tinggi) 2 bilion nm</p>  <p>Epal (~ 8 cm) 80 juta nm</p>  <p>Semut (~ 5 mm) 5 juta nm</p>	 <p>Diameter rambut manusia 75,000 nm</p> <p>Saiz terkecil dapat dilihat oleh mata 10,000 nm</p>  <p>Bakteria <i>E. coli</i> 2,000 nm</p>	 <p>Buckyball 1 nm</p>  <p>DNA 2 nm</p>  <p>Diameter tiub nanokarbon 1.3 nm</p>

Gambar rajah 1. Perbezaan skala makro, mikro dan nano

Sumber: Silicon Valley Toxics Coalition

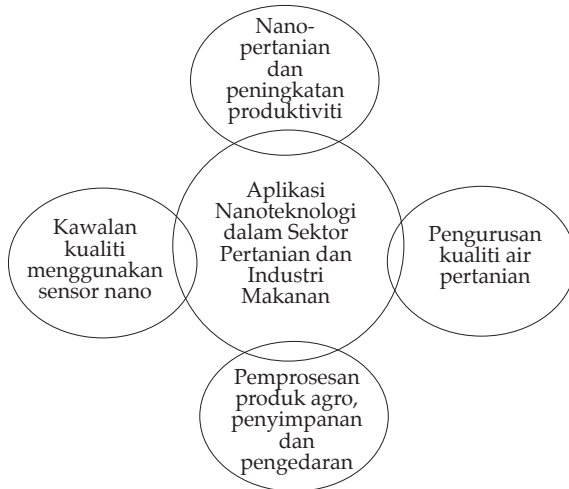
ketinggalan dalam pembangunan yang berpotensi ini di mana inovasi secara berterusan sangat diperlukan disebabkan bertambahnya sekuriti makanan global dan cabaran perubahan cuaca yang memberi kesan kepada pengeluaran sektor pertanian. Pada masa dahulu, pertanian mendapat manfaat daripada banyak inovasi teknologi termasuk varieti hibrid, kimia sintetik dan bioteknologi. Kini, para penyelidik mula memberi tumpuan kepada nanoteknologi sebagai sumber penambahbaikan pertanian.

Aplikasi nanoteknologi dalam bidang pertanian dan pemakanan

Aplikasi nanoteknologi dalam sektor pertanian dan industri makanan mempunyai empat teras utama (*Rajah 1*). Empat teras tersebut adalah seperti yang berikut:

Nanopertanian dan peningkatan produktiviti

Aplikasi nanoteknologi dalam sains bahan dan teknologi penukaran biojisim dalam bidang pertanian adalah seperti penyediaan makanan, makanan haiwan, serat dan bahan bakar. Melalui kemajuan nanoteknologi, beberapa teknik termaju dibangunkan untuk penambahbaikan amalan pertanian tepat yang membolehkan kawalan yang jitu pada skala nanometer. Sumber alternatif untuk baja telah dibangunkan apabila partikel nano silikon dioksida (SiO_2) diketahui dapat



Rajah 1. Empat teras utama aplikasi nanoteknologi dalam sektor pertanian dan industri makanan

meningkatkan percambahan biji tomato. Pembawa skala nano pula ialah bahan nano yang digunakan untuk penghantaran baja, pestisid, herbisid dan pengawal atur pertumbuhan yang lebih efisien. Penggunaan enkapsulasi, polimer, dendrimer dan ikatan ionik permukaan adalah antara mekanisme yang terlibat dalam penghantaran yang efisien, penyimpanan yang lebih baik dan perlepasan sesuatu produk seperti nutrien secara terkawal. Selain itu, pembawa berskala nano juga boleh direka supaya boleh melekat pada akar tumbuhan atau struktur tanah yang berdekatan bertujuan untuk mengelak sesetengah nutrien atau bahan kimia tertentu daripada larut resap ke persekitaran untuk mengurangkan pencemaran alam sekitar. Pelbagai nanoemulsi untuk diaplikasi sebagai herbisid dan pestisid telah berjaya diformulasi. Penggunaannya bukan sahaja dapat meningkatkan keberkesanan terhadap serangga dan rumpai, tetapi dapat mengurangkan jumlah penggunaan bahan kimia tersebut.

Pengurusan kualiti air pertanian

Pada ketika ini, bekalan air mentah yang banyak dan bersih untuk kegunaan manusia dan industri merupakan cabaran paling penting yang dihadapi dunia. Menurut satu kajian yang pernah dilakukan, lebih daripada satu bilion manusia di dunia ini yang kekurangan bekalan air bersih dan situasi ini semakin bertambah buruk. Dalam jangka masa terdekat, dianggarkan purata bekalan air setiap orang akan menurun sebanyak 33% yang akan membawa kepada kematian jutaan penduduk. Air bersih diperlukan dalam kuantiti yang banyak untuk sektor pertanian, tetapi situasi ini menyumbang kepada pencemaran air bawah tanah yang serius hasil penggunaan pestisid, baja dan bahan kimia pertanian yang lain. Untuk menyelesaikan masalah ini dan untuk merawat kuantiti air

buangan yang besar, teknologi novel yang mapan dan kos efektif diperlukan.

Penyelidikan dan pembangunan dalam nanoteknologi telah membolehkan kita untuk mencari penyelesaian yang novel dan berupaya dilaksanakan untuk remediasi dan penulenan air buangan. Sumber air yang boleh didapati kebanyakannya dicemari dengan mikroorganisma patogenik bawaan air seperti cryptosporidium, bakteria koliform, virus dan lain-lain, pelbagai garam dan logam (kuprum, plumbum, arsenik dan sebagainya), sisa kimia pertanian, ribuan kompaun daripada produk farmaseutikal dan penjagaan peribadi, kompaun pengganggu endokrin dan bahan cemar radioaktif. Antara penyelesaian novel melalui nanoteknologi untuk rawatan air buangan adalah seperti yang berikut:

Partikel metalik nanooligodinamik Sistem disinfeksi mikrob secara kimia fizikal melalui penggunaan bahan seperti klorin dioksida, ozon dan ultraungu lazimnya digunakan oleh negara maju, tetapi kebanyakan negara sedang membangun tidak mempunyai sistem sebegini kerana kekurangan infrastruktur. Partikel metalik nanooligodinamik mempunyai keupayaan membantu menghasilkan air bebas daripada mikrob. Antara bahan nano, partikel metalik nanooligodinamik seperti perak adalah yang paling berpotensi kerana ia bersifat antibakteria dan antivirus yang dapat membebaskan spesies oksigen reaktif yang memotong DNA mikroorganisma dan boleh digunakan untuk pelbagai aplikasi. Ciri-cirinya yang lain adalah mudah digunakan, nisbah permukaan per isi padu yang tinggi, struktur kristalografik dan pembolehsuaian kepada pelbagai substrat.

Pemangkinan cahaya Pemangkinan cahaya melibatkan tindak balas pemangkin dengan kompaun kimia dengan kehadiran cahaya. Partikel nano kompaun yang spesifik disinarkan dengan cahaya ultraungu yang akan menyebabkan elektron pada kulit paling luar teruja dan menghasilkan pasangan lubang elektron yang berupaya melakukan disinfeksi air. Ia bertindak sebagai agen pengoksidaan yang bagus dan agen ini termasuklah logam oksida seperti titanium oksida, zink oksida, perak, emas dan lain-lain lagi. Proses pemangkinan cahaya ini boleh digunakan untuk mengurai kompaun toksik seperti pestisid yang mengambil masa lama untuk mengurai bawah keadaan normal.

Desalinasi/penyahmasinan air masin Disebabkan sumber air mentah yang terhad, kemungkinan pada masa akan datang desalinasi atau penyahmasinan air laut akan menjadi sumber utama air mentah. Teknologi desalinasi konvensional seperti osmosis songsang masih digunakan, tetapi kosnya tinggi disebabkan penggunaan tenaga yang

banyak serta harga membran yang sangat mahal dan membebankan pengguna. Nanoteknologi telah memainkan peranan penting dalam pembangunan beberapa alternatif jimat tenaga, antaranya ialah membran biomimetik protein-polimer, membran tiub nanokarbon-sejajar dan membran nanokomposit filem nipis dan zeolit. Teknologi ini 1,000 kali lebih efisien daripada osmosis songsang kerana bahan ini mempunyai kadar ketelapan air yang tinggi kerana kewujudan membran karbon tiub nano dalam strukturnya. Teknologi ini mungkin diperkenalkan di pasaran dalam sedikit masa lagi tetapi peningkatan skala, keberkesanan desalinisasi yang praktikal dan kestabilan jangka masa panjang adalah cabaran yang paling kritikal untuk dipertimbangkan sebelum kejayaan pengkomersialannya.

Pemprosesan produk agro, penyimpanan dan pengedaran

Bahan nanolignoselulosa Bahan lignoselulosa bersaiz nano yang didapati daripada tanaman dan pokok telah membuka pasaran baharu untuk bahan dan produk bersaiz nano yang inovatif dan mempunyai nilai tambah. Kristal lignoselulosa bersaiz nano telah digunakan sebagai pengukuh yang mempunyai berat yang ringan dalam matriks polimer. Ia boleh diaplikasi dalam pembungkusan makanan, pembinaan dan struktur badan kenderaan pengangkutan. *Michigan Biotechnology Incorporate International* (MBI) telah membangunkan teknologi penghasilan nano lignoselulosa daripada jerami gandum untuk menghasilkan biokomposit yang boleh menggantikan gentian kaca dan plastik dalam banyak aplikasi termasuk bahagian automotif. Penghasilan nanolignoselulosa ialah jalan terbaik untuk pengurusan sisa pertanian kerana bahan ini boleh didapati daripada sisa pertanian yang berasaskan lignin dan selulosa.

Bioremediasi pestisid yang rintang Partikel nano boleh digunakan untuk bioremediasi kompaun yang rintang dan terurai perlahan seperti pestisid. Kompaun berbahaya ini cenderung untuk bergabung dengan pasangan lubang elektron positif yang akan diurai dan ditukar kepada kompaun yang tidak toksik. Partikel nanouranit biogenik telah digunakan untuk bioremediasi uranium, manakala bahan nano yang disintesis secara semula jadi daripada organisma seperti *Gundelia tournefortii*, *Centaurea virgata*, *Reseda lutea*, *Scariola orientalis*, *Eleagnum angustifolia*, *Bacillus* sp. dan *Noaea mucronata* dapat menarik logam berat terutamanya kuprum, zink, plumbum dan nikel. Secara perbandingan, disinfektan berasaskan partikel nano adalah lebih baik daripada disinfektan kimia seperti sodium hipoklorit berdasarkan kajian terhadap aktiviti mikrob pada spesies *Salmonella* dan *Staphylococcus*.

Disinfektan Pasangan lubang elektron terutama elektron negatif yang terhasil daripada partikel nano yang teruja boleh dijadikan disinfektan untuk bakteria. Apabila bakteria bersentuh dengan partikel nano ini, elektron yang teruja akan dipindahkan kepada sel bakteria yang akan menyebabkan penyingkiran bakteria tersebut di dalam pembungkusan buah-buahan dan makanan.

Kawalan kualiti menggunakan sensor nano

Biosensor pengesan pantas Pelbagai ciri kompaun meruap dihasilkan daripada mikroorganisma yang berguna dan yang mendatangkan mudarat kepada manusia. Contohnya, fermentasi yis akan menghasilkan alkohol apabila bakteria menggunakan gula. Dalam industri makanan, organisma perosak makanan disebabkan oleh bakteria dan menghasilkan bau yang kurang enak. Bau ini adalah indikasi yang jelas kepada degradasi makanan yang boleh dikesan melalui visual dan bau, tetapi kaedah ini kadangkala tidak praktikal dilakukan sekiranya melibatkan kuantiti sampel makanan yang banyak. Oleh itu, biosensor yang berfungsi untuk mengesan bau ini secara pantas dihasilkan.

Biosensor yang menggunakan partikel nano dipanggil nanobiosensor dan semakin mendapat perhatian dalam industri makanan dan pertanian disebabkan cirinya yang dapat mengurangkan masa panjang yang diambil untuk ujian mikrob dan asai imuno. Aplikasi alat ini termasuklah mengesan kontaminan dalam bekalan air, bahan makanan mentah dan produk makanan. Nanobiosensor yang menggunakan Fe_3O_4 berupaya untuk mengesan bakteria *Bacillus thuringiensis* yang menghasilkan toksin yang sangat berbahaya dalam makanan. Dalam bidang akuakultur pula, nanobiosensor yang boleh mengesan tahap amina meruap dalam ikan digunakan untuk menentukan tahap kesegaran ikan tersebut. Ikan yang telah disimpan lama akan menghasilkan amina meruap dalam kuantiti yang tinggi.

Partikel nanoemas Partikel nanoemas secara komersial digunakan sebagai kaedah pengujian pantas untuk ujian kehamilan dan pengesan molekul biologi yang berasaskan warna koloid emas yang bergantung kepada saiz partikel, bentuk, indeks biasan medium sekeliling dan pemisahan antara partikel nano tersebut. Partikel nano boleh melekat di atas permukaan molekul yang spesifik seperti antibodi dengan menggunakan agen penstabil partikel nanoemas. Molekul ini akan terjerap di atas permukaan partikel nano dan mengubah indeks biasan efektif persekitaran dan seterusnya dibaca oleh instrumen seperti resonans plasmon permukaan. Ciri ini menjadikan biosensor yang berasaskan partikel nanoemas mempunyai potensi yang amat besar dalam pembangunan biosensor dalam aplikasi pertanian.

Kesimpulan

Era nanoteknologi adalah era yang berubah dengan pantas dan menjadi satu daripada bidang sains moden yang berkembang dengan pesat. Pada masa kini, setiap bidang sains sedikit sebanyak mempunyai kaitan dengan nanoteknologi, daripada amalan perladangan kepada pemasaran, nanoteknologi telah membawa kepada satu revolusi. Sektor pertanian dan industri makanan dan merupakan dua sektor utama yang mendapat faedah daripada saintis yang membangunkan evolusi dalam nanoteknologi. Aplikasi skala besar partikel nano dalam sektor pertanian membawa kepada perubahan revolusi yang berupaya meningkatkan produktiviti dalam sektor ini yang secara langsung membantu meningkatkan pendapatan para petani dan industri pertanian itu sendiri. Namun demikian, pengetahuan dan kesedaran orang ramai terhadap aplikasi nanoteknologi dalam pertanian dan perladangan perlu dipupuk supaya teknologi ini boleh dimanfaatkan sepenuhnya. Pengguna pula perlu memahami risiko dan aspek keselamatan nanoteknologi.

Bibliografi

- Chen, H. dan Yada, R. (2011). Nanotechnologies in agriculture: New tools for sustainable development. *Trends in Food Science and Technology* 22(11): 585 – 594
- Cheng, M.M.C., Cuda, G., Bunimovich, Y.L., Gaspari, M., Heath, J.R., Hill, H.D. dan Ferrari, M. (2006). Nanotechnologies for biomolecular detection and medical diagnostics. *Current Opinion in Chemical Biology* 10(1): 11 – 9
- Cross, K.M., Lu, Y., Zheng, T., Zhan, J., McPherson, G. dan John, V. (2009). Water decontamination using iron and iron oxide nanoparticles nanotechnology applications for clean water (Savage, N., Diallo, M., Duncan, J., Street, A. dan Sustich, R., ed.), Bab 24, 347 hlm. Norwich, New York: William Andrew Inc.
- Dasgupta, N., Ranjan, S., Mundekkad, D., Ramalingam, C., Shanker, R. dan Kumar, A. (2015). Nanotechnology in agro-food: From field to plate. *Food Research International*
- Parisi, C., Vigani, M. dan Rodríguez-Cerezo, E. (2014). Agricultural Nanotechnologies: What are the current possibilities? *Nano Today*

Ringkasan

Perubahan cuaca, urbanisasi dan penggunaan sumber semula jadi yang mapan dan isu alam sekitar seperti pencemaran pestisid dan baja merupakan cabaran utama yang dihadapi oleh pengusaha pertanian di seluruh dunia. Masalah ini ditambah lagi dengan peningkatan ketara dalam permintaan hasil pertanian untuk memenuhi populasi manusia yang dijangka berjumlah 6 – 9 bilion penduduk pada tahun 2050. Senario pembangunan pesat dan sistem pertanian yang kompleks wujud terutamanya di kalangan negara membangun dan cabaran lebih getir dihadapi negara tersebut kerana pertanian ibarat tulang belakang kepada ekonomi sesuatu negara itu. Aplikasi nanoteknologi dalam

sektor pertanian dan industri makanan dilihat berupaya membantu menyelesaikan beberapa masalah yang dihadapi pelbagai pihak dalam industri. Bukan itu sahaja, ia dapat meningkat atau menambah baik kaedah sedia ada ke arah penghasilan produk yang berkualiti serta ditambah nilai.

Summary

Climate change, urbanisation and sustainable use of natural resources and environmental issues such as pollution of pesticides and fertilizers are among the challenges faced by agricultural entrepreneurs around the world. These problems are exaggerated with the significant increase in the demand for agricultural products as the human population is expected to be 6 – 9 billion in 2050. Rapid development scenarios and complex agricultural system exists in developing countries, and these challenges are more prominent to countries where agriculture is the backbone to their economy. Application of nanotechnology in agricultural sector and food industry can solve several problems faced by these industries and also enhanced or improve existing methods to produce quality value-added products. Some examples of applications of nanotechnology in agriculture, food and environment were described in this article.

Pengarang

Mohd. Afendy Abdul Talib
Pusat Penyelidikan Bioteknologi, Ibu Pejabat MARDI, Serdang,
Peti Surat 12301, 50774 Kuala Lumpur
E-mel: fendy@mardi.gov.my