

## POTENSI PEMANFAATAN PUPUK NANO UNTUK MENDUKUNG BIO-INDUSTRI BUDIDAYA PADI DI INDONESIA

*Potential Utilization of Nano-Fertilizer for supporting Rice Cultivation in Indonesia*

**Wage R. Rohaeni, Untung Susanto, dan Sarlan Abdulrahman**

<sup>2</sup>Balai Besar Penelitian Tanaman Padi, Sukamandi, Subang

Jl. Raya 9 Sukamandi, Ciasem, Subang 41256

Telp. (0260) 520 157 Fax. (0260) 520 158. e-mail : wagebbpadi@gmail.com

### ABSTRAK

Pupuk sangat penting untuk pertumbuhan tanaman. Namun demikian, saat ini efisiensi pemupukan masih sangat rendah, sedangkan pemupukan yang berlebihan dapat merusak sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Melalui aplikasi teknologi nano diharapkan permasalahan tersebut dapat diatasi. Review ini mengungkapkan perkembangan terkini aplikasi pupuk nano pada tanaman padi. Teknologi nano, yaitu teknologi untuk memanipulasi suatu benda dengan memperkecil ukurannya hingga 1 – 100 nanometer. Terdapat 2 metode untuk pembuatan pupuk nano, yaitu metode top-down dan bottom up. Metode top-down yaitu metode penghancuran secara mekanis. Metode bottom up yaitu metode yang dilakukan secara kimia, diantaranya : Proses sol-gel, proses berbasis aerosol, deposisi uap kimia, kondensasi atom atau molekuler, kondensasi fase gas, dan sintesis fluida superkritis. Unsur hara yang dapat dijadikan pupuk nano adalah unsur hara makro dan mikro serta pupuk organik. Teknologi ini tidak hanya mengubah ukuran bahan, namun juga karakteristik bahan. Perubahan terjadi pada sifat fisik dan kimia material yaitu meningkatnya luas permukaan, meningkatnya bioviabilitas, dosis efektif lebih kecil, meningkatnya kemampuan penetrasi, serta mempercepat *onset of action* (terjadinya tindakan). Penelitian pupuk nano di Indonesia ini baru sebatas formulasi pupuk P-nano dan pengujian efektivitas pada padi dan jagung. Penelitian membuktikan bahwa penggunaan pupuk nano meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk, mengurangi toksisitas tanah, serta meminimalkan potensi terjadinya dampak negatif akibat penggunaan pupuk yang berlebihan. Varietas berpotensi memberikan respon yang berbeda terhadap aplikasi pupuk nano. Penelitian lebih mendalam diharapkan dapat mengungkapkan peluang aplikasi teknologi pupuk nano untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas padi untuk setiap spesifik agroekosistem dan varietas dalam bio-industri budidaya padi di Indonesia.

**Kata kunci:** pupuk, teknologi nano, bio-industri, padi

## ABSTRACT

Fertilizer is essential for plant growth. However, fertilizer efficiency is still very low at the moment, whereas excessive fertilization can impair the physical, chemical, and biological soil. Through the application of nanotechnologies is expected to overcome these problems. This review is made to reveal the latest developments regarding the application of nano fertilizer in rice. Nano technology is the technology to manipulate an object / material to reduce the size of up to 1-100 nanometers. There are two methods for making nano fertilizer, the method of top-down and bottom up. Top-down method is the method of mechanical destruction. Bottom-up method is performed by chemical methods, such as: The process of sol-gel, aerosol-based processes, chemical vapor deposition, atomic or molecular condensation, condensation of the gas phase, and supercritical fluid synthesis. Nutrients that can be made into fertilizer nano is a macro and micro nutrients and organic fertilizer. This technology not only changes the size of the material, but also the material characteristics. Changes occur in the physical and chemical properties of materials, namely the increased surface area, increasing bioviabilitas, smaller effective dose, increasing the penetration capability and speed of onset of action. Nano fertilizer research in Indonesia that has been done is a P-nano fertilizer formulations and test the effectiveness of the rice and corn. Research shows that the use of nano fertilizer can improve efficiency of fertilizer utilization, reduce the toxicity of the soil, as well as minimize the potential negative impacts as a result of excessive fertilizers utilization. Varieties could potentially provide a different response on the application of nano fertilizer. Further research is expected to reveal the opportunities of the nano fertilizer application to improve the efficiency and productivity of rice for each specific agro-ecosystems and bio-industrial varieties in rice cultivation in Indonesia.

*Key word: fertilizer, nano technology, bio-industry, paddy*

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Pupuk sangat penting untuk pertumbuhan tanaman. Pupuk adalah material yang ditambahkan pada media tanam atau disemprotkan langsung pada daun untuk mencukupi kebutuhan hara yang diperlukan sehingga tanaman mampu tumbuh dengan baik. Pemupukan yang tepat dapat mengubah sifat fisik, kimia atau biologi tanah sehingga menjadi lebih baik bagi pertumbuhan tanaman. Apabila pemberian pupuk tidak mencukupi dapat mengakibatkan tanaman tumbuh tidak optimal dan produktivitasnya menurun. Penggunaan pupuk kimia menjadi suatu keharusan terutama bagi petani di Indonesia untuk meningkatkan produksi dari varietas padi.

Selain varietas, pemupukan termasuk komponen teknologi utama budidaya padi. Rendahnya efisiensi pemupukan akhir-akhir ini disebabkan teknologi aplikasi pupuk yang masih konvensional. Beberapa pendekatan untuk mengefisienkan

penggunaan pupuk telah diciptakan, misalnya melalui pemupukan spesifik lokasi dan berdasarkan status hara dapat menentukan rekomendasi dosis pupuk sesuai kebutuhan tanaman. Namun demikian, efisiensi pemupukan masih sangat memungkinkan, mengingat pemupukan yang berlebihan dapat merusak sifat fisik, kimia, dan biologi tanah serta menyebabkan keracunan dan polusi lingkungan. Fenomena dilapangan menunjukkan bahwa pupuk N cenderung berlebih karena respon dari tanaman cukup besar sementara diketahui bahwa unsur hara N sangat mudah tercuci.

Formulasi pupuk konvensional kebanyakan menggunakan material sintetis sehingga akan terjadi akumulasi residu pupuk yang akan mencemari lingkungan. Sekitar 40-70% N menguap ke udara, 80-90% P dan 50-70% K dari pemberian pupuk konvensional tertinggal di dalam tanah dan tidak dapat diserap oleh tanaman (Ahmed *et al.*, 2010). Dosis pupuk konvensional per hektar sangat besar yaitu dalam jumlah kuintal. Sehingga biaya subsidi dan distribusi pupuk menjadi besar pula.

Pertanian berbasis bio-industri sangat penting untuk meningkatkan efisiensi input budidaya terutama pupuk dan teknologi nano menjadi salah satu harapan untuk mencapai hal tersebut. Teknologi ini mampu memperkecil ukuran pupuk menjadi 1nm (nano meter) sehingga penyerapan oleh tanaman menjadi lebih sempurna. Teknologi ini diharapkan mampu meningkatkan efisiensi biaya produksi sekaligus mengurangi potensi terjadinya pencemaran lingkungan.

Sementara ini diketahui bahwa teknologi nano di Indonesia masih sangat terbatas. Pengembangan teknologi ini membutuhkan biaya yang tidak sedikit. Pengetahuan terhadap teknologi nano masih sebatas lingkup penelitian. Istilah teknologi nano masih cukup awam di Indonesia, sehingga perlu pendalaman materi lebih lanjut dan penelusuran penelitian-penelitian terutama formulasi pupuk nano dan aplikasinya pada tanaman terutama tanaman pangan. Untuk itu, dalam review ini diungkapkan perkembangan terkini aplikasi pupuk nano terbatas pada tanaman padi.

### **Perkembangan dan Potensi Teknologi Nano di Bidang Pertanian**

Teknologi nano adalah teknologi memanipulasi suatu benda dengan memperkecil ukurannya hingga 1 – 100 nanometer. Teknologi ini tidak hanya merubah ukuran bahan menjadi kecil, namun merubah karakteristik bahan menjadi unik dan berbeda dari sifat sebelumnya. Richard Feynman (1959) adalah peneliti fisika yang pertama kali mengemukakan konsep nanoteknologi dan menerima nobel atas konsepnya tersebut. Feynman menyatakan bahwa karakteristik bahan material berskala nano meter akan memberikan peluang baru yang sangat bermanfaat di masa depan.

Teknologi nano memiliki potensi baru yang akan bermanfaat di segala bidang ilmu. Ilmu dan teknologi nano memungkinkan para ilmuwan untuk memanipulasi dan mengontrol molekul/atom pada ukuran skala kecil ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ).

<sup>9)</sup> menuju miniaturisasi informasi dan produk. Haryadi (2014) mengemukakan bahwa teknologi nano akan merubah sifat fisik dan kimia material akibatnya meningkatnya luas permukaan, meningkatnya bioviabilitas, dosis efektif lebih kecil, meningkatnya kemampuan penetrasi, dan mempercepat *onset of action* (terjadinya tindakan). Berdasarkan hal tersebut, diperkirakan terdapat potensi peningkatan efisiensi kinerja dari suatu produk. Pupuk nano *slow release* dapat mengurangi pemakaian pupuk maupun polusi lingkungan (Ahmed *et al*, 2010)

Teknologi nano pertama kali digunakan pada komputer di tahun 2001 dalam bentuk sirkuit single molekul, *logic performing integrated circuit* dari transistor karbon nanotube (Wikipedia, 2012). Trenggono (2008) mengungkapkan bahwa hingga tahun 2008, berbagai produk nano telah beredar di pasaran meliputi peralatan, otomotif, lapisan pelindung, elektronik dan komputer, makanan dan kemasan, mainan anak, kesehatan dan kebugaran, serta rumah dan kebun. White (2013) menjelaskan pemakaian teknologi nano tersebut diantaranya: untuk peralatan medis, elektronik, bahan bakar, penyaring udara, teknologi pengelolaan air, dan farmasi. Teknologi nano akhirnya mulai adopsi oleh Indonesia yaitu bidang pertanian terutama pada pembuatan pupuk nano.

Teknologi nano di Indonesia baru sebatas penelitian. Penggunaan teknologi nano yang pertama kali diterapkan di bidang pertanian dilakukan adalah untuk pembuatan pupuk nano. Formulasi pupuk nano pertama kali diteliti oleh Balai Penelitian Tanah yaitu formulasi P-nano. Saat ini reformulasi pupuk nano terus dikembangkan dengan tujuan untuk mendapatkan formulasi pupuk nano yang tepat.

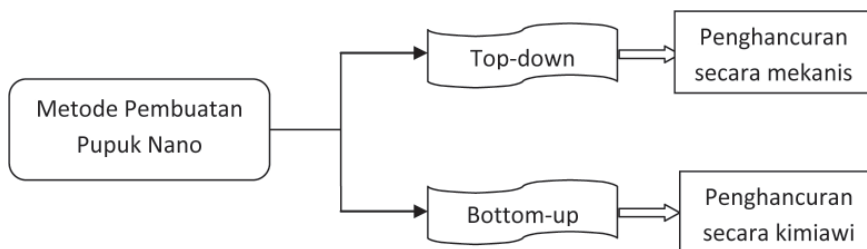
Terdapat beberapa alasan penting untuk merubah formulasi pupuk konvensional yang sudah ada menjadi formulasi pupuk dengan ukuran nanometer. Pupuk konvensional memiliki ukuran bentuk millimeter. Dengan ukuran dan formulasi yang sudah ada sekarang dinilai kurang efisiensi. Hasil penelitian Shaviv (2000) dan Chinnamuthu *et al.* (2009) menunjukkan efisiensi pemakaian pupuk nitrogen sekitar 20-50% dan efisiensi pupuk posfor sekitar 10-25%. Berdasarkan formulasi yang sudah ada pada pupuk konvensional yang banyak beredar, kandungan N pada pupuk urea hanya sebesar 45%, kandungan P pada pupuk SP-36 sebesar 36%, dan kandungan K pada pupuk KCl sebesar 60%. Hal tersebut menunjukkan masih banyak bahan pada formulasi pupuk konvensional yang “terbuang” percuma dan menjadi polutan di lapang. Dengan demikian penggunaan pupuk konvensional seperti ini mempunyai banyak kelemahan ditinjau dari segi efisiensi pemupukan, tenaga kerja dan lingkungan. Tingkat efisiensi pupuk konvensional sangat rendah, banyak tenaga kerja yang dipergunakan untuk mengaplikasikan pupuk konvensional, dan terjadi pencemaran lingkungan.

Suppan (2013) menyatakan bahwa teknologi yang paling menarik untuk meningkatkan hasil panen sekaligus mengurangi kerusakan lingkungan adalah dengan mengubah dan mengurangi penggunaan input pupuk kimia melalui nanoteknologi. Menurut DeRosa *et al.* (2009), teknologi nano memungkinkan pupuk dapat diserap langsung oleh tanaman, sehingga mengurangi interaksinya

dengan nutrisi yang ada di dalam tanah, mikroorganisme, air, dan udara. Arryanto (2012), menyatakan bahwa penggunaan pupuk nano yang berukuran super kecil memiliki keunggulan lebih reaktif, langsung mencapai sasaran atau target karena ukurannya yang halus, serta jumlah yang dibutuhkan jauh lebih sedikit dibandingkan pupuk konvensional. Hasil penelitian Mogadham *et al.* (2012) menunjukkan bahwa pupuk nano memberikan pengaruh positif pada semua fase pertumbuhan tanaman. Naderi *et al.* (2013) membuktikan bahwa penggunaan pupuk nano meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk, mengurangi toksisitas tanah, meminimalkan potensi terjadinya dampak negatif akibat penggunaan pupuk yang berlebihan.

### Teknik Formulasi Pupuk Nano

Teknologi nano adalah teknologi yang meliputi pencitraan, pemodelan, pengukuran, fabrikasi dan memanipulasi sesuatu pada skala nano (RSAE, 2004 dalam Chinamuthu *et al.*, 2009; Trenggono, 2008). Terdapat beberapa teknik dalam proses pembuatan pupuk nano, diantaranya : 1) teknik enkapsulasi pupuk di dalam partikel nano, teknik ini adalah salah satu teknik baru yang dilakukan pada nutrisi tanaman yang dapat dienkapsulasikan ke dalam material nanoporous, 2) teknik pelapisan dengan menggunakan polimer film, dan 3) teknik membuat menjadi partikel atau emulsi berdimensi skala nano (Rai *et al.*, 2012).



**Gambar 1.** Metode pembuatan pupuk nano

Beberapa peneliti mengungkapkan 2 metode untuk pembuatan pupuk nano, yaitu metode top-down dan bottom up. Metode top-down yaitu metode penghancuran secara mekanis. Metode top-down dilakukan dengan beberapa cara diantaranya : *Mechanical milling* (mesin penggilingan), *repeated quenching* (penghilangan kandungan air secara berulang), dan *lithography* (proses pembuatan pupuk nano dengan bantuan logam). Metode bottom up yaitu metode yang dilakukan secara kimia. Metode bottom-up dengan beberapa cara diantaranya : *sol-gel process* (Proses sol-gel), *aerosol – based processes* (proses berbasis aerosol), *chemical vapour deposition* (deposisi uap kimia), *atomic or molecular condensation* (kondensasi atom atau molekuler), *gas-phase condensation* (kondensasi fase gas), *supercritical fluid synthesis* (sintesis fluida superkritis) (Husnain dkk, 2010). Dari beberapa metode tersebut, metode yang sedang diperdalam oleh peneliti Litbang adalah metode top-down.

Penelitian yang sudah dilakukan oleh Husnain dkk (2010) adalah membuat pupuk nano dengan menggunakan 2 metode. Dua metode ini tergolong pada teknik membuat menjadi partikel atau emulsi berdimensi skala nano. Dua metode tersebut yaitu : 1) menghaluskan bahan secara fisik menjadi berukuran nano (nano powder), dan 2) metode ekstraksi dengan senyawa kimia khusus. Senyawa kimia untuk metode ekstraksi diantaranya : monocase vinyl alcohol, sodium fatty alcohol eter sulfat (AES), ethyl acetate solution, sodium benzena sulfonate (SBS) untuk bahan sintesis. Dari dua metode tersebut, metode menghaluskan secara fisik adalah yang paling mudah dan murah biaya. Arryanto (2012) menambahkan bahwa tidak semua unsur hara dapat dibuat menjadi ukuran nano. Unsur hara yang berbentuk ion seperti N, K, Ca, Mg, dan unsur hara ionik lainnya tidak dapat dibuat ukuran nano dengan metode penghalusan secara fisik. Unsur hara ionik dapat dibuat menjadi pupuk nano dengan metode bottom up (secara kimiawi).

Unsur hara yang dapat dijadikan pupuk nano adalah semua jenis hara makro dan mikro. Unsur hara makro diantaranya N, P, K, Ca, Mg, dan S. Unsur hara mikro diantaranya : Fe, Zn, Cu, B, Mo, Cl, Bohr, dan lainnya (Forozany, 1993; Agustina, 2011). Unsur hara non ionik seperti P dapat dibuat menjadi P-nano dengan metode penghalusan secara fisik dari deposit batuan P-alam sedangkan unsur hara non ionik seperti hara makro N, K, Mg, S serta semua hara mikro dibuat pupuk nano dengan metode kimiawi. Unsur hara mikro adalah unsur hara yang paling banyak dibuat dalam bentuk pupuk nano karena kebutuhannya oleh tanaman dalam jumlah yang sedikit per hektarnya.

Pemakaian pupuk nano membutuhkan agen/carrier untuk membawa unsur hara berukuran nanometer sampai ke tanaman. Dalam teknologi nano, semua unsur hara baik ionik maupun non ionik yang diolah menjadi pupuk nano rata-rata menggunakan SMZ sebagai carrier. Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa surfactant modified zeolite (SMZ) adalah carrier pupuk yang baik untuk membuat pupuk *slow release* (Naderi *et al.*, 2013).

### **Penelitian Pengujian Pupuk Nano Terhadap Beberapa Komoditas**

Beberapa peneliti sudah mulai mendalami penelitian pupuk nano terhadap beberapa komoditi. Unsur hara makro yang sudah diteliti untuk dijadikan pupuk nano diantaranya N-nano, K-nano, dan P-nano. Unsur hara mikro yang sudah diteliti menjadi pupuk nano diantaranya: Bohr-nano, Fe-nano, dan C-nano Tabel 1).

**Tabel 1.** Contoh Penelitian Pengujian Pupuk Nano Pada Beberapa Komoditas

No	Peneliti	Komoditi	Jenis Pupuk nano	Hasil
1	Kottegoda <i>et al.</i> (2011)	Gamal	Urea-modified hydroxyapatite nanoparticles	Kayu gamal berpotensi sebagai bahan enkapsulasi untuk pupuk urea nano
2	Vattani <i>et al.</i> (2012)	Bayam	Fe - nano	Pemberian Fe nano meningkatkan akumulasi zat besi, kalium dan menurunkan akumulasi sodium, nitrat dan Nitro dalam daun bayam dibandingkan kontrol.
3	Bozorgi (2012)	Terong	Nitrogen + Fe-nano	Pupuk N yang dikombinasikan dengan pupuk Fe-nano berpengaruh nyata terhadap hasil panen tanaman terong
4	Wu (2013)	Padi	Pupuk slow release + C-nano	Pemberian pupuk <i>slow release</i> yang ditambahkan nano-carbon meningkatkan secara signifikan hasil gabah sebesar 11.3% dan efisiensi penggunaan nitrogen sebesar 7.9 kg/kg N
5	Sirisena <i>et al.</i> (2013)	Padi irigasi	K-nano	Aplikasi pupuk K-nano menghasilkan panen padi 10% lebih banyak dibandingkan hasil aplikasi pupuk K-konvensional. Dosis efektif 30 kg/ha K-nano.
5	Moosapoor <i>et al.</i> (2013)	Kacang tanah	Bohr-nano + Fe	Pupuk 2 g/l Bohr-nano yang dikombinasikan dengan 6 g/l kelat besi menghasilkan panen berat biji kering kacang terbesar yaitu 2.3 ton per ha
7	Widowati dkk (2013)	Padi dan Jagung	P-alam nano dan P-alam submikron	P-alam nano dan P-alam submikron mampu mensuplai P dalam jumlah yang lebih sedikit dari SP-36

Beberapa penelitian telah berhasil menguji pembuatan pupuk nano dan efektivitasnya dilapang. Hara mikro – nano yang dikombinasikan dengan hara makro konvensional sering diteliti pengaruhnya terhadap pertumbuhan tanaman. Contohnya, pemberian pupuk N yang dikombinasikan dengan pupuk Fe-nano berpengaruh nyata terhadap hasil panen tanaman terong (*Solanum melongena* L.). Hasil panen terong tertinggi dihasilkan pada kombinasi dosis 60 kg/ha Nitrogen + 2 g/l Fe-nano (Bozorgi, 2012). Aplikasi pupuk Bohr-nano pupuk 2 g/l Bohr-nano yang dikombinasikan dengan 6 g/l kelat besi menghasilkan panen berat biji kering kacang terbesar yaitu 2.3 ton per ha Moosapoor *et al.* (2013).

Hara makro nano sudah diteliti pada tanaman pangan. Sirisena *et al.* (2013) meneliti pengaruh pupuk K-nano terhadap beberapa varietas padi irigasi. Pupuk K-nano terbukti lebih baik dibandingkan pupuk K-konvensional. Aplikasi pupuk K-nano menghasilkan panen padi 10% lebih banyak dibandingkan hasil aplikasi pupuk K-konvensional. Dosis 30 kg/ha K-nano menghasilkan berat panen paling tinggi sebesar 7 ton/ha. Kottegoda *et al.* (2011) membuat urea yang sudah dimodifikasi dengan nanopartikel hydroxyapatite yang dienkapsulasikan

dengan kayu yang bertekstur lunak dari tanaman *G. Sepium*. Widowati dkk (2013) membandingkan pemanfaatan P-alam nano dan P-alam submikron dengan SP-36, dimana hasil menunjukkan bahwa P-alam nano dan sukrikron mampu mensuplai kebutuhan P oleh tanaman dengan jumlah pupuk yang sedikit dibandingkan SP-36.

### **Respon Varietas terhadap Pupuk Nano**

Tanaman mempunyai mekanisme penyerapan yang berbeda terhadap nutrisi yang diberikan melalui organ tajuk dengan organ akar. Unsur hara yang diberikan dengan cara disemprotkan ke tajuk tanaman akan diserap melalui stomata. Sedangkan unsur hara yang berada dalam tanah akan diserap oleh tanaman melalui bulu-bulu akar yang sangat halus.

Kerapatan maupun ukuran stomata dan panjang bulu akar berbeda-beda antar jenis tanaman juga antar varietasnya. Hal tersebut diakibatkan oleh perbedaan genetik yang dimiliki antar jenis tanaman juga antar varietas. Berdasarkan hasil penelitian Lestari (2006), terdapat perbedaan kerapatan stomata antar varietas padi yang diujinya. Kerapatan stomata varietas Gajahmungkur lebih rendah dibandingkan Towuti dan IR 64. Hasil penelitian Sunadi (2008) menunjukkan terdapat perbedaan distribusi akar antar varietas yang diuji pada penerapan metode SRI dan sistem konvensional.

Perbedaan anatomi stomata dan akar antar varietas menunjukkan terdapat potensi perbedaan respon genetik tanaman terhadap pupuk nano dengan pupuk konvensional. DeRosa (2009) menyatakan bahwa akar dan daun memiliki pori-pori berukuran nano dan mikro. Nanomaterial dalam hal ini pupuk nano memiliki ukuran kecil dan luas permukaan yang besar sehingga meningkatkan interaksi dengan permukaan tanaman dan memungkinkan untuk meningkatkan serapan hara oleh bulu akar dan stomata.

Penelitian lebih dalam terhadap perbedaan respon genetik/varietas padi terhadap penggunaan pupuk nano belum banyak dilakukan. Namun, sebagai referensi bahwa beberapa hasil penelitian menunjukkan perbedaan respon genetik tanaman terhadap penggunaan pupuk konvensional. Hasil penelitian Limbongan, dkk (2009) menunjukkan bahwa nitrogen, genotipe dan interaksi genotipe x nitrogen berpengaruh terhadap persentase serbuk sari fertil, persentase gabah bernas dan produksi GKG. Barrel et al. (1997) menunjukkan bahwa genotipe berumur genjah lebih responsif terhadap pemupukan nitrogen dibandingkan dengan genotipe umur dalam. Hasil penelitian Singh dan Kumar (2001) menunjukkan bahwa kultivar dengan umur pendek lebih respon terhadap N pada lingkungan dengan radiasi tinggi.

### **KESIMPULAN**

Terdapat 2 metode untuk pembuatan pupuk nano, yaitu metode top-down dan bottom up. Metode top-down yaitu metode penghancuran secara mekanis. Metode bottom up yaitu metode yang dilakukan secara kimia, diantaranya : Proses sol-



gel, proses berbasis aerosol, deposisi uap kimia, kondensasi atom atau molekuler, kondensasi fase gas, dan sintesis fluida superkritis. Unsur hara yang dapat dijadikan pupuk nano adalah unsur hara makro dan mikro serta pupuk organik. Teknologi nano tidak hanya mengubah ukuran bahan, namun juga karakteristik bahan. Perubahan terjadi pada sifat fisik dan kimia material yaitu meningkatnya luas permukaan, meningkatnya bioviabilitas, dosis efektif lebih kecil, meningkatnya kemampuan penetrasi, serta mempercepat *onset of action* (terjadinya tindakan). Varietas berpotensi memberikan respon yang berbeda terhadap aplikasi pupuk nano. Penelitian lebih mendalam diharapkan dapat mengungkapkan peluang aplikasi teknologi pupuk nano untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas padi untuk setiap spesifik agroekosistem dan varietas dalam bio-industri budidaya padi di Indonesia.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, L. 2011. Unsur Hara Mikro I (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo, dan Cl): manfaat kebutuhan Kahat dan Keracunan. Program Pasca Sarjana UNIBRAW.
- Ahmed, A, F. Nigar, Md. H. Kabir, G. Chakrabarti, H.P Nur. S. M. I. Huq. 2010. Environment Friendly Slow Release Nano Fertilizer. Bangladesh Council of Scientific and Industrial Research (BCSIR).
- Arryanto, Y. 2012. Nano technology in agriculture. Disajikan pada Workshop Peluang Nano Teknologi untuk Pertanian. Bogor, 26 Januari 2012.
- Barrel, A.K., A.L. Garside, S. Fukay, D.J. Reid. 1997. Seasons and plant type affect the response of rice yield to nitrogen fertilization in a semi arid tropical environment. *Aust. J. Agric. Res.* 49:179–180.
- Bozorgi, H.R. 2012. Study effects of nitrogen fertilizer management under nano iron chelate foliar spraying on yield and yield components of eggplant (*Solanum melongena* L.) *ARPJN Journal of Agricultural and Biological Science*, Vol. 7 No. 4 : 233-237.
- Chinnamuthu, C.R., P. Murugesu Boopathi. 2009. Nanotechnology and Agroecosystem. *Madras Agric. J.*, 96 (1-6): 17-31.
- DeRosa, M. 2009. New oportunities in nanotechnologies. Seminar of Canadian Fertilizer Product Forum. Ottawa. October 14<sup>th</sup> 2009.
- Forozany, M. 1993. Nutrition Basics. Tehran, press four. 213-240.
- Haryadi, P. 2014. Perkembangan Teknologi Nano (Nanotechnology) dan Aplikasinya di Industri Pangan. phariyadi.staff.ipb.ac.id. [diunduh 10 September 2014].
- Husnain, Ladiyani R. Widowati, dan Linca Anggria. 2010. Laporan Penelitian Ristek : Penelitian dan Pengembangan Teknologi Nano Berbahan Baku Batuan Alami dan Bahan Organik untuk Meningkatkan Efisiensi Pemupukan >35%. Balai Penelitian Tanah, Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. Kementerian Pertanian.

- Kottegoda, N., I. Munaweera, N. Madusanka, V. Karunaratne. 2011. A green slow-release fertilizer composition based on urea-modified hydroxyapatite nanoparticles encapsulated wood. *Current Science*, Vol. 101 No. 1: 73-78.
- Lestari, E.G. 2006. Hubungan antar kerapatan stomata dengan ketahanan kekeringan pada somaklon padi Gajahwungkur, Towuti, dan IR64. *Biodiversitas*. Vol. 7 No. 1 : 44-48
- Limbongan, Y.L., B. S. Purwoko, Trikoesoemaningtyas, H. Aswidinnoor. 2009. Respon genotipe padi sawah terhadap pemupukan nitrogen di dataran tinggi. *J. Agron. Indonesia* 37 (3) : 175 – 182.
- Moosapoor, N., S. M. Sadeghi, S. Bidarigh. 2013. Effect of bohr nanofertilizer and chelated iron on the yield of peanut in province guilan, Iran. *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*, Vol. 3 (4) : 45-62.
- Moghadam, A.L., H. Vattani, N. Baghaei, N. Keshavarz. 2012. Effect of different levels of fertilizer nano\_iron chelates on growth and yield characteristics of Two varieties of spinach (*Spinacia oleracea* L.): Varamin 88 and Viroflay. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 4(12): 4813 - 4818.
- Naderi, M.R., A. D. Shahraki. 2013. Nanofertilizers and their roles in sustainable agriculture. *Intl J Agri Crop Sci. Vol.*, 5 (19), 2229-2232.
- Rai V, Acharya S, Dey N. 2012. Implications of Nanobiosensors in Agriculture. *J. of Biomaterials and Nanobiotechnology* 3: 315-324.
- RSRAE. 2004. Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties. In : Chinnamuthu, C.R. , and P. Murugesu Boopathi. 2009. Nanotechnology and Agroecosystem. *Madras Agric. J.*, 96 (1-6): 17-31.
- Shaviv A. 2000. Advances in Controlled Release of Fertilizers. *Adv. Agron. J* 71:1-49
- Singh, A.K., A. Kumar. 2001. Response of promising rice genotypes to nitrogen levels in irrigated lowlands. *IRRN* 2:49.
- Sirisena, DN., DMN. Dissanayake, V. Karunaratne, and N. Kutigoda. 2013. Use of nano-K fertilizer as a source of potassium in rice cultivation. Rice Research and Development institute.
- Suppan, S. 2013. Nano materials in soil: Our future food chain?. IATP Press.
- Sunadi. 2008. Perbedaan distribusi akar beberapa varietas padi (*Oryza sativa*) dalam metode SRI dan sistem konvensional. *Jur. Embrio*. I(1):44-49.
- Trenggono, A. 2008. Ilmu dan teknologi nano untuk pembangunan Indonesia. *Bamus 2008 PPI Perancis*. Marseille, 29 Nopember 2008.

- White, JC. 2013. Nano technology use in agriculture: Benefit and potential risks. APHL Annual Meeting and 7th Government Environmental Laboratory Conference Raleigh, NC Tuesday June 4, 2013.
- Wikipedia. 2012. Nano CMOS. [http://id.wikipedia.org/wiki/Nano\\_CMOS](http://id.wikipedia.org/wiki/Nano_CMOS). [diunggah pada tanggal 12 Juni 2014].
- Widowati, L.R., Husnain, W. Hartatik. 2013. Peluang formulasi pupuk berteknologi nano. *balittanah.litbang.deptan.go.id/27%20-%20Ladiyani%20Retno%.pdf*. Badan Litbang Pertanian di Balai Penelitian Tanah. Diunggah pada tanggal 17 Juni 2014.
- Wu, M. 2013. Effects of Incorporation of Nano-carbon into Slow-released Fertilizer on Rice Yield and Nitrogen Loss in Surface Water of Paddy Soil. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 5(4): 398-403.
- Vattani, H., N. Keshavarz, N. Baghaei. 2012. Effect of sprayed Soluble different levels of iron chelate Nano fertilizer on nutrient uptake efficiency in two varieties of spinach (Varamin88 And Virofly). *Intl. Res. J. Appl. Basic. Sci.*, Vol., 3 (S), 2651-2656.