

Pengembangan Pupuk Cair Nitrogen Berukuran Nanometer untuk Meningkatkan Efisiensi Pemupukan

(Development Liquid Nitrogen Fertilizer in the Nanometer Size to Increase Efficiency of Fertilization)

Deden Saprudin^{1*}, Munif Gulamahdi², Wiwik Hartatik³, Latifah Kosim Darusman¹, Ilfa Nuraisyah¹

ABSTRAK

Secara konvensional pupuk urea hanya dapat diserap oleh tanaman sebanyak 30–60%, sedangkan sisanya, 40–70% terbuang ke lingkungan, hal ini bukan hanya kerugian secara ekonomis dan sumberdaya yang diperoleh melainkan dampak pada masalah pencemaran lingkungan yang serius. Salah satu cara yang dapat mengatasi masalah kurang efisiennya penggunaan pupuk urea adalah pupuk berukuran nano. Pupuk nano yang disintesis pada penelitian ini adalah nanomagnetit (Fe_3O_4). Nanomagnetit disintesis dari FeCl_3 sebagai sumber besi, natrium sitrat sebagai reduktor, dan urea sebagai sumber basa. Berdasarkan hasil difraksi sinar-x, nanomagnetit memiliki ukuran kristal rata-rata 46,66 nm. Hasil pengukuran dengan Spektroskopi sinar-x energi dispersif, penyusun nanomagnetit berupa besi (29,45%), oksigen (53,07%), karbon (14,86%), dan natrium (2,62%). Hal ini menunjukkan besi dan oksigen merupakan unsur penyusun utama nanomagnetit. Dalam proses pembentukan magnetit, cairan hasil sintesis menyerap urea sebesar 30% dengan kandungan N (0,14%) dan sebagian berada dalam cairan hasil sintesis (0,82%) sehingga dapat dijadikan pupuk pada tanaman. Berdasarkan hasil penelitian, variasi pH (6–8) pupuk cair yang diberikan tidak berpengaruh signifikan. Penambahan nanomagnetit 0,15 g memberikan pertumbuhan yang lebih baik diantara perlakuan lainnya.

Kata kunci: hidrotermal, jagung, magnetit, pupuk nano, urea

ABSTRACT

Conventional utilization of urea just has absorbed 30–60%. Remaining, 40–70% lost to environment, give not economic benefit and serious problem in environment. The use of less efficient urea has received attention lately. One way to overcome the problem of inefficiency of urea fertilizer use is a nano-sized fertilizer. Synthesized nanofertilizer in this study were nanomagnetite (Fe_3O_4). Nanomagnetite synthesized from FeCl_3 as a source of iron, sodium citrate as the reductant, and urea as a source base. Nanomagnetite synthesized using a hydrothermal method. Based on the results of X-ray diffraction, the nanomagnetite has average crystal size 46.66 nm and crystal structure is Face Center Cubic. Energy-dispersive X-ray spectroscopy shows constituent elements in nanomagnetite are iron (29.45%), oxygen (53.07%), carbon (14.86%), and sodium (2.62%). This shows the iron and oxygen is the main constituent elements nanomagnetite. In the process of magnetite formation absorbed urea by 30% with N content (0.14%) and most are in the liquid synthesis (0.82%) so that it can be used as fertilizer on crops. Based on this research, variations of pH (6–8) liquid fertilizer provided no significant effect. The addition of 0.15 g nanomagnetite have better growth among other treatments.

Keywords: corn, hydrothermal, magnetite, nanofertilizer, urea

PENDAHULUAN

Penggunaan pupuk urea di Indonesia relatif lebih tinggi jika dibandingkan dengan beberapa negara di Asia (Las *et al.* 2006). Pemberian pupuk dengan dosis tinggi tidak menguntungkan bagi kelestarian lahan dan lingkungan. Selain pemborosan, residu pupuk N dapat mencemari sumber daya air. Berdasarkan pertimbangan sosial, tenaga kerja dan biaya produksi petani hanya menebarkan pupuk di atas permukaan tanah (Akil 2009). Penyerapan yang sangat rendah

(sekitar 30–35%) menyebabkan sebagian besar urea terbuang ke lingkungan (Tong *et al.* 2009). Penggunaan pupuk urea dengan cara ini juga dapat menyebabkan polusi akibat penguapan dalam bentuk NH_3 (Sujetoviene 2010). Namun, jika pupuk urea langsung diaplikasikan bersama dengan tanaman akan menimbulkan gejala terbakar pada tanaman (Sutihati 2003).

Penelitian untuk mengatasi masalah kurang efisiennya penggunaan pupuk urea telah mendapat perhatian akhir-akhir ini. Sheehy *et al.* (2005) melakukan penelitian pelepasan urea secara bertahap dan terkendali dengan cara penyalutan. Namun, kecepatan pelepasan sangat sulit dikontrol sehingga nutrisi yang terlepas tidak sesuai dengan kebutuhan tanaman. Proses penyalutan juga menyebabkan biaya produksi pupuk menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan pupuk konvensional. Tong *et al.* (2009) melakukan penelitian hidrogel sebagai penya-

¹ Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan IPA Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680.

² Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680.

³ Balai Penelitian Tanah, Balai Besar Sumberdaya Lahan Pertanian, Jalan Tentara Pelajar No.12 Bogor, 16114.

Penulis korespondensi: E-mail: dsp@ipb.ac.id

lut urea untuk mengontrol pelepasannya ke tanah. Namun, terdapat kekurangan, yaitu adanya kesulitan menentukan parameter yang berhubungan dengan kecepatan pelepasan urea sehingga sulit untuk dimodelkan.

Salah satu cara yang diusulkan dalam penelitian ini untuk mengatasi masalah kurang efisiennya penggunaan pupuk urea adalah pupuk berukuran nano (pupuk nano). Pupuk nano memiliki beberapa keuntungan diantaranya ekonomis, dapat meningkatkan penyerapan nitrogen oleh tanaman karena pelepasan nutrisi dapat langsung masuk ke dalam akar tanaman. Oleh karena itu, pupuk nano sangat bagus untuk dikembangkan dalam mengatasi masalah lingkungan dan kesehatan manusia (Maria 2010).

Setyoningsih *et al.* (2010) telah melakukan sintesis nanomagnetit (Fe_3O_4) dengan urea sebagai sumber basa menggunakan alat hidrotermal. Sintesis menggunakan hidrotermal dengan sistem yang tertutup menyebabkan nano-magnetit masih mengandung N sebagai produk samping. Gabungan nano-magnetit dan produk samping tersebut diharapkan dapat digunakan sebagai pupuk cair (pupuk nano) untuk menyediakan unsur hara N bagi tanaman. Penggunaan produk samping sebagai pupuk nano meningkatkan efisiensi dalam sintesis nano-magnetit.

Penelitian ini, dilakukan sintesis nanomagnetit dengan urea sebagai sumber basa. Pupuk nano akan diaplikasikan pada tanaman jagung dalam rumah kaca kawasan perkebunan Cikabayan, *University Farm* IPB. Untuk mengetahui indikator keberhasilan pupuk, pertumbuhan vegetatif meliputi jumlah daun, dan tinggi tanaman tanaman jagung diamati.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah difraktometer sinar-X (Shimadzu XRD-7000 X-ray *diffractometer*), dan SEM-EDS (JEOL).

Bahan yang digunakan adalah garam $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Nacalai Tesque), urea (Merck), natrium sitrat (Merck), tanah latosol dari Cikabayan (*University Farm* IPB), dan benih jagung hibrida.

Lingkup Kerja

Metode penelitian secara umum yang dilakukan adalah sintesis magnetit sebagai pupuk nitrogen, penentuan kadar nitrogen dalam cairan dan nanomagnetit, karakterisasi nanomagnetit menggunakan Difraksi sinar-x (XRD) dan mikroskop elektron (SEM-EDS). Selanjutnya, dilakukan pengujian ke tanaman dengan mengamati pertumbuhan vegetatif meliputi jumlah daun, dan tinggi tanaman, tanaman jagung. Tingkat kesuburan tanah diamati dengan mengukur pH, C-organik dan kandungan N dalam tanah.

Sintesis Magnetit

Penelitian dilakukan mengikuti prosedur Cheng *et al.* (2011) tanpa penambahan poliakrilamida. Sebanyak 2 mmol garam FeCl_3 , 4 mmol natrium sitrat dan urea 6 mmol dilarutkan dalam akuades 40 mL. Larutan diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 30 menit, kemudian larutan dipanaskan selama 12 jam pada suhu 200 °C. Hasil yang diperoleh didinginkan pada suhu kamar. Endapan dan cairan dipisahkan dengan cara disedot hingga padatan magnetit tertinggal kemudian ditambahkan etanol dicuci dan dikeringkan.

Pencirian dengan XRD

Pencirian dengan XRD dilakukan menggunakan difraktometer sinar-X (Shimadzu XRD-7000 X-ray *diffractometer*), untuk mengetahui fasa yang terdapat dalam sampel dan untuk menentukan ukuran kristal. Sekitar 200 mg sampel dicetak langsung pada aluminium ukuran 2 × 2,5 cm. Sampel dikarakterisasi dengan lampu radiasi Cu.

Pencirian dengan SEM-EDS

Pencirian dengan SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi sampel, sedangkan EDS digunakan untuk mengetahui kandungan unsur yang terkandung dalam magnetit. Sampel diletakkan pada plat aluminium yang memiliki dua sisi kemudian dilapisi dengan lapisan emas setebal 48 nm. Sampel yang telah dilapisi diamati menggunakan SEM dengan tegangan 22 kV dan perbesaran tertentu.

Pengaruh magnetit sebagai pupuk nitrogen pada tanaman jagung

Penelitian dilakukan di kawasan perkebunan Cikabayan, *University Farm* IPB dengan jenis tanah latosol. Tanah memiliki pH 4,86 (masam), kandungan C-organik 1,52% (rendah), dan kandungan nitrogen 0,21 (sedang). Tanah memiliki kadar air 0,55%, dan kadar abu 81,6%. Penelitian dilakukan pada tanaman jagung dalam pot tanpa diberi perlakuan sebagai kontrol (K). Tanaman jagung yang ditambahkan bubuk magnetit 0,15 g (A) dan tanaman yang masing-masing diberi pupuk cair nano dengan berbagai variasi pH, yaitu pH 6 (B), 7 (C) dan 8 (D) dengan 2 kali ulangan. Pemberian pupuk dilakukan sebanyak empat kali, yaitu pada saat penanaman, 2 MST, 3 MST (1,8 mL) dan hari ke 26 (10 mL) dengan cara disemprotkan ke tanaman/tanah secara langsung.

Pengukuran pH (AOAC 2002 & SNI 19-7030-2004)

Sebanyak 5 g tanah dimasukkan ke dalam botol pengocok, ditambah 12,50 mL akuades setelah itu dikocok selama 30 menit. Suspensi tanah diukur pH-nya dengan pH-meter yang telah dikalibrasi.

Penentuan Kadar Air (AOAC 2002 & SNI 19-7030-2004)

Sebanyak 2 g tanah dimasukkan ke dalam cawan porselin yang telah diketahui bobotnya. Cawan dimasukkan ke dalam oven, kemudian dikeringkan

selama 5 jam pada suhu 105 °C. Setelah itu, didinginkan dalam desikator dan ditimbang.

$$\text{Kadar air} = \frac{(\text{bobot yang hilang setelah } 105\text{ }^{\circ}\text{C})}{(\text{bobot contoh awal})} \times 100\%$$

Penentuan Kadar Abu (AOAC 2002)

Setelah penentuan kadar air tanah dimasukkan ke dalam tanur. Tanah diabukan pada suhu 300 °C selama 1,5 jam, selanjutnya suhu dinaikkan menjadi 550–600 °C selama 2,5 jam. Tanah didinginkan dalam desikator kemudian ditimbang, kadar abu:

$$\text{Kadar Abu} = \frac{(\text{bobot abu})}{(\text{bobot contoh awal})} \times 100\%$$

Penentuan C-organik (Rayment 1992)

Sebanyak 0,5 g tanah ditimbang dan ditambahkan 20 mL H₂SO₄ didiamkan hingga dingin. Setelah dingin ditambahkan air 100 mL dan indikator feroin. Larutan dititrasi menggunakan FeSO₄ 1N sampai berubah warna dari cokelat menjadi merah gelap.

Penentuan N-total (ASASSSA 1982)

Penetapan N-Kjeldahl

Sebanyak 0,25 g tanah dimasukkan ke dalam labu Kjeldahl, kemudian ditambahkan 0,25 g campuran selenium dan 3 ml H₂SO₄ pekat, dikocok hingga merata, dibiarkan selama 2–3 jam supaya diperarang. Setelah itu, campuran didekstruksi sempurna dengan suhu bertahap dari 150–350 °C selama 3–3,5 jam hingga diperoleh cairan jernih. Setelah dingin, tanah diencerkan dengan akuades agar tidak mengkristal. Larutan hasil dekstruksi dipindahkan secara kuantitatif ke dalam labu didih destilator volume 250 mL, lalu ditambahkan akuades hingga setengah volume labu didih dan ditambahkan sedikit batu didih.

Penampung distilat, yaitu 10 mL asam borat 1% dalam Erlenmeyer volume 100 mL yang diberi tiga tetes indikator Conway disiapkan. Larutan hasil dekstruksi didistilasi dengan penambahan 20 mL NaOH 40%. Distilasi selesai apabila volume cairan dalam Erlenmeyer sudah mencapai 75 mL dan distilat berubah dari merah muda menjadi hijau. Distilat dititrasi dengan H₂SO₄ 0,05 N hingga titik akhir (A1) ditandai dengan berubahnya warna larutan dari hijau menjadi merah muda. Penetapan blanko dikerjakan dengan prosedur tersebut di atas (misalnya membutuhkan A1 ml titran).

$$\text{N-Kjeldahl} = \frac{(A-A1) \times BE \text{ N} \times N \text{ H}_2\text{SO}_4}{\text{mg contoh}} \times 100\%$$

$$\text{Kadar N-organik} = (\text{N-Kjeldahl} - \text{N-NH}_4)$$

Keterangan:

A = volume H₂SO₄ contoh

A1 = volume H₂SO₄ blanko.

Penetapan N-NH₄

Tanah ditimbang 1 g lalu dimasukkan ke dalam labu didih, ditambahkan sedikit batu didih, 0,5 mL parafin cair, dan 100 mL akuades. Blanko yang

digunakan adalah 100 mL akuades ditambah batu didih dan parafin cair. Penampung distilat yaitu 10 mL asam borat 1% dalam Erlenmeyer 100 mL yang dibubuhi tiga tetes indikator Conway disiapkan. Distilasi dilakukan dengan menambahkan 20 mL NaOH 40%. Distilasi selesai bila volume sekitar 75 mL. Setelah itu, distilat dititrasi dengan larutan baku H₂SO₄ 0,05 N hingga titik akhir (B ml), ditandai dengan berubahnya warna larutan dari hijau menjadi merah muda. Penetapan blanko dikerjakan dengan prosedur tersebut di atas (misalnya membutuhkan B1 ml titran).

$$\text{N-NH}_4 = \frac{(B-B1) \times BE \text{ N} \times N \text{ H}_2\text{SO}_4}{\text{mg contoh}} \times 100\%$$

Keterangan:

B = volume H₂SO₄ untuk N-NH₄

B1 = volume H₂SO₄ blanko.

Penetapan N-NO₃

Setelah penetapan N-NH₄ larutan contoh dibiarkan dingin, lalu ditambahkan akuades hingga volume semula. Penampung distilat, yaitu 10 mL asam borat 1% dalam Erlenmeyer 100 mL yang dibubuhi indikator Conway disiapkan. Campuran didistilasi dengan menambahkan 2 g devarda alloy, distilasi dimulai hingga mendidih dan diatur agar buih tidak meluap. Distilasi selesai bila volume cairan dalam Erlenmeyer sudah mencapai 75 mL. Distilat dititrasi dengan 12 larutan baku H₂SO₄ 0,05 N hingga titik akhir (C mL), ditandai dengan berubahnya warna larutan dari hijau menjadi merah muda. Penetapan blanko dikerjakan dengan prosedur tersebut di atas (misalnya membutuhkan C1 mL titran).

$$\text{N-NO}_3 = \frac{(C-C1) \times BE \text{ N} \times N \text{ H}_2\text{SO}_4}{\text{mg contoh}} \times 100\%$$

Keterangan:

C = volume H₂SO₄ untuk N-NH₄

C1 = volume H₂SO₄ blanko.

Penentuan Fe dalam Cairan Magnetit

Sebanyak 7 mL larutan ditambahkan 0,7 mL HNO₃ hingga pH larutan menjadi 2. Larutan dianalisis menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Sintesis Magnetit

Magnetit telah berhasil disintesis dari FeCl₃·6H₂O sebagai sumber besi dengan teknik hidrotermal. Magnetit yang dihasilkan berwarna hitam dan bersifat paramagnetik dengan ukuran kristal rata-rata 46,66 nm. Ukuran material kurang dari 100 nm maka hasil sintesis dapat disebut nanomagnetit (Huber 2005). Hal ini dibuktikan oleh pola difraksi sinar-X (Gambar 1) yang menunjukkan puncak-puncak yang sesuai dengan standar JCPDS No. 19-0629.

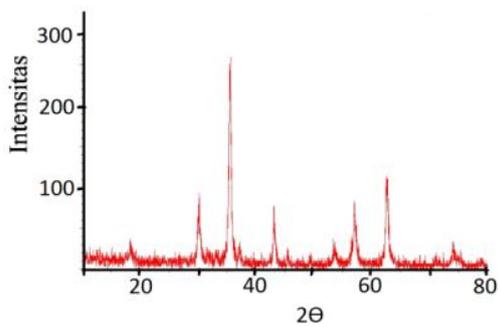
Nanomagnetit yang dihasilkan pada penelitian ini berbentuk kristal FCC (*Face Centered Cubic*). Hal tersebut dibuktikan dengan pola nilai $h^2 + k^2 + l^2$ (3, 8, 11, 16, 24, 27, dan 32). Hal ini sesuai dengan Guan *et al.* (2009) menyatakan bahwa nanomagnetit memiliki struktur kristal FCC.

Berdasarkan hasil SEM (Gambar 2), partikel berbentuk bulat dan mengumpul (aglomerasi).

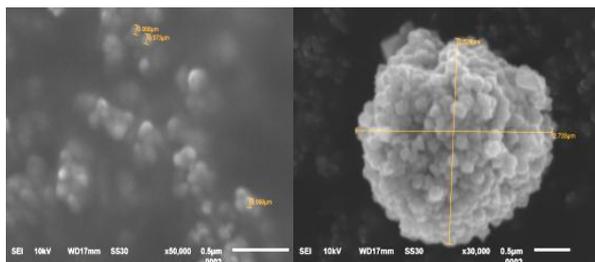
Berdasarkan hasil analisis EDS, nanomagnetit tersusun atas besi (29,45%), oksigen (53,07%), karbon (14,86%), dan natrium (2,62%). Karbon berasal dari urea dan sitrat yang ditambahkan, sedangkan natrium berasal dari natrium sitrat. Komposisi tersebut menunjukkan bahwa Fe dan O merupakan komponen utama penyusun nanomagnetit.

Pembentukan nanomagnetit diawali dengan reaksi reduksi terhadap $FeCl_3$. Seiring meningkatnya suhu, sebagian Fe^{3+} tereduksi menjadi Fe^{2+} oleh sitrat. Pada waktu yang sama urea terdekomposisi menjadi NH_3 dan CO_2 yang membentuk suasana basa dalam sistem larutan. Suasana basa ini, mendukung pembentukan $Fe(OH)_3$ dan $Fe(OH)_2$ yang akan berubah menjadi Fe_3O_4 setelah dehidrasi (Cheng *et al.* 2011).

Sintesis menghasilkan serbuk hitam dengan bobot 0,15 g. Hasil ini menunjukkan bahwa 99,99% $FeCl_3$ berhasil diubah menjadi magnetit. Hal ini sesuai dengan hasil analisis menggunakan AAS (*Atomic absorption Spectrophotometry*), yaitu hanya 0,01% Fe yang tidak berubah menjadi magnetit. Dalam proses pembentukannya, magnetit menyerap urea sebesar 30% dengan kandungan N (0,14%) dan sebagian berada dalam cairan hasil sintesis (0,82%). Hal ini mendukung nanomagnetit dan produk sampingnya untuk dijadikan sebagai pupuk (penyedia unsur hara N).



Gambar 1 Pola difraksi sinar-X nano-magnetit hasil sintesis.



Gambar 2 Nanomagnetit dengan perbesaran 50000x (kiri) dan nanomagnetit teraglomerasi (kanan).

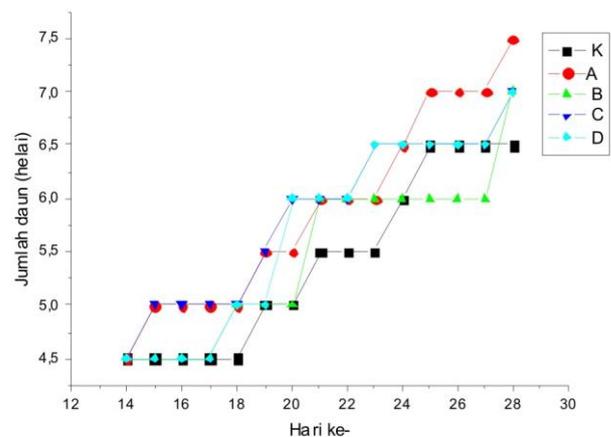
Magnetit sebagai Penyedia Unsur Hara N (*nanofertilizer*)

Penggunaan nanomagnetit dan hasil sampingnya sebagai pupuk dapat meningkatkan efisiensi sintesis nanomagnetit. Berdasarkan penelitian pendahuluan, pupuk nano dapat diaplikasikan secara langsung pada benih tanaman jagung. Hal ini dapat mengatasi masalah kurang efisiennya penggunaan pupuk urea. Aplikasi langsung pada tanaman dapat meningkatkan penyerapan nitrogen karena pelepasan nutrisi dapat langsung masuk ke dalam akar tanaman (Maria 2010). Selain efisien, pupuk nano juga ekonomis karena dapat mengurangi biaya produksi dalam hal pengadaan tenaga kerja untuk aplikasi pupuk pada tanaman.

Hasil penelitian terhadap pertumbuhan jagung menunjukkan bahwa pupuk dengan pH yang berbeda (6–8) tidak berpengaruh secara signifikan. Hal ini disebabkan tanaman jagung memiliki toleran pada reaksi keasaman tanah, yaitu berkisar 5,6–7,5 (Menegristek 2011).

Berdasarkan hasil penelitian terhadap pertumbuhan tanaman jagung yang diberi bubuk magnetit terlihat memiliki perbedaan yang signifikan (Gambar 3 & 4) dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Hal ini menunjukkan tanaman jagung menggunakan hara N dengan efektif. Keberadaan besi dalam pupuk pada pot A memberi pengaruh terhadap pertumbuhan tanaman karena besi penting untuk mengaktifkan enzim dalam tanaman dan pembentukan protein kloroplas (Hodges 2011). Hal ini dapat membantu pertumbuhan jagung. Meskipun, penambahan pupuk mikro sangat jarang dilakukan. Namun, untuk mendukung produksi tanaman yang efisien dan lestari dibutuhkan kesetimbangan hara makro dan mikro dalam tanah (Las *et al.* 2006).

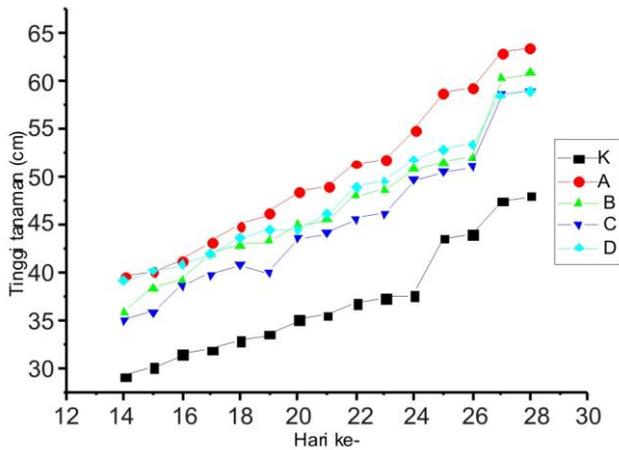
Tanaman yang diberikan pupuk cair memiliki pertumbuhan yang lebih baik dibandingkan kontrol (Gambar 3 & 4). Penambahan pupuk nitrogen penting dalam membangun protoplasma dan pembentukan



Keterangan:

K= Kontrol; A= ditambah magnetit 0,15 g; B=pupuk cair pH 6; C=pupuk cair pH 7; D=pupuk cair pH 8

Gambar 3 Pengaruh pemberian pupuk nanomagnetit terhadap jumlah daun jagung.



Keterangan:

K= Kontrol; A= ditambah magnetit 0.15 g; B=pupuk cair pH 6; C=pupuk cair pH 7; D=pupuk cair pH 8

Gambar 4 Pengaruh pemberian pupuk nanomagnetit terhadap tinggi jagung.

karbohidrat. Semakin tinggi kandungan N menyebabkan laju pembelahan dan pemanjangan sel berjalan dengan cepat sehingga memacu pertumbuhan tanaman (Sutihati 2003). Tanaman kontrol dapat tumbuh meskipun memiliki pH rendah sekitar 4,86 (masam) karena tanah memiliki kandungan nitrogen 0,21% (sedang) yang dapat digunakan jagung untuk tumbuh.

Pemberian pupuk nanomagnetit sebanyak 1,8 mL secara bertahap pada tanaman tidak memberikan perbedaan yang signifikan terhadap kontrol. Hal ini menunjukkan kandungan nitrogen pada pupuk belum dapat memenuhi kebutuhan nitrogen tanaman. Peningkatan volume hingga 10 mL, menyebabkan tanaman berkembang lebih cepat dan lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol.

KESIMPULAN

Nanomagnetit berhasil disintesis dengan teknik hidrotermal. Analisis XRD membuktikan bahwa nanomagnetit adalah komponen utama hasil sintesis dengan ukuran kristal rata-rata 46,66 nm. Hasil SEM menunjukkan partikel nanomagnetit memiliki ukuran 60–70 nm. Nanomagnetit dan cairannya masih mengandung nitrogen sebesar 0,14 dan 0,82% berturut sehingga dapat diaplikasikan sebagai pupuk pada tanaman. Penggunaan pupuk nanomagnetit pada benih jagung dapat mengefisienkan penggunaan pupuk urea. Variasi pH (6–8) tidak berpengaruh secara signifikan pada tanaman jagung.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Kementerian Pertanian Republik Indonesia atas bantuan pendanaan penelitian melalui Kegiatan Kerjasama

Penelitian Pertanian dan Perguruan Tinggi (KKP3T) tahun 2011.

DAFTAR PUSTAKA

- Akil M. 2009. Aplikasi pupuk urea pada tanaman jagung. Seminar Nasional Serealia. Balai Penelitian Tanaman Serealia. ISBN: 978-979-8940-27-9: 102–107.
- [AOAC] Association Official Agriculture Chemists. 2002. Official Methods of Analysis of AOAC International. Maryland: AOAC International.
- [ASASSSA] American Society of Agronomy and Soil Science of America. 1982. Methods of Soil Analysis. Madison: CMP.
- Bara A, Chozin MA. 2010. Pengaruh dosis pupuk kandang dan frekuensi pemberian pupuk urea terhadap pertumbuhan dan produksi jagung (*Zea Mays L*) di lahan kering. [Skripsi]. Bogor (ID): Insitut Pertanian Bogor.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2006. Produksi Padi, Jagung, dan Kedelai. [terhubung berkala] <http://BeritaResmiStatistikNo.57/IX/1Nopember2006>. [25 Okt 2011].
- Clark W, Gellings, Kelly E, Parmenter. 2004. Energy Efficiency in Fertilizer Production and Use, in Efficient Use and Conservation of Energy. Inggris: Eolss Publishers.
- Cheng W, Tang K, Qi Y, Sheng J, Liu Z. 2010. One-step synthesis of superparamagnetic monodisperse porous Fe₃O₄ hollow and core-shell spheres. *Journal of Mat. Chem.* 20: 1799–1805.
- Guan N, Wang Y, Sun D, Xu J. 2009. A simple one-pot synthesis of single-crystalline magnetite hollow spheres from a single iron precursor. *Nanotech J.* 20: 1–8.
- Hodges CS. 2011. Soil Fertility Basic. Kalifornia: SSE.
- Huber DL. 2005. *Synthesis, Properties, and Applications of Iron Nanoparticles*. Weinheim: Wiley.
- Las I, Subagyo K, Setiyanto AP. 2006. Isu dan pengelolaan lingkungan dalam revitalisasi pertanian. *Litbang Pertanian J.* 25(3): 107–114.
- Maria C, DeRosa, Monreal C, Schnitzer M, Walsh R, Sultan Y. 2010. Nanotechnology in fertilizers. *Nat. Nanotech.* 5(2): 91.
- [MENEGRISTEK] Mentri Negara Riset dan Teknologi. 2011. [terhubung berkala]. <http://www.ristek.go.id> [20 Okt 2011].
- Rayment GE, Higginson FR. 1992. Australian Laboratory Handbook of Soil and Water Chemicals methods. Sydney: Inkata Pr.
- Sheehy JE, Mitchell PL, Guy JD, Anaida B, Ferrer. 2005. Can smarter nitrogen fertilizers be

- designed? Matching nitrogen supply to crop requirements at high yields using a simple model. *Field Crops Research*. 94(1): 54–66.
- Setyoningsih, Saprudin D, Maddu A. 2010. Sintesis nanokristal magnetit menggunakan urea sebagai penjerap Cr(VI). [Skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Sihombing M. 2007. Indonesia berpotensi kuasai pasar jagung. [terhubung berkala]. <http://www.sebi.ac.id> [25 Okt 2011].
- Sujetoviene G. 2010. Nitrification potential of soils under pollution of a fertilizer plant. *Env. Resrch. Engineering and Management*. 3(53): 13–16.
- Sutihati I. 2003. Pengaruh dosis pupuk nitrogen terhadap pertumbuhan dan hasil beberapa varietas jagung (*Zea mays* L.) hibrida. [Skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Tong Z, Yuhai L, Shihuo Y, Zhongyi H. 2009. Superabsorbent hydrogels as carriers for the controlled release of urea: experiments and a mathematical model describing the release rate. *Bio. Engineering*. 2: 44–50.