

**PENINGKATAN NUTRISI BESI DAN SENG DALAM BERAS:
BERBASIS JENIS TANAH, PEMUPUKAN BERIMBANG DAN VARIETAS**

**IMPROVEMENT OF NUTRITION IRON AND ZINC IN RICE:
BASED ON SOIL TYPE, BALANCED FERTILIZER AND VARIETY**

Yuana Juwita¹ dan Yustisia²

^{1 2}Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Sumatera Selatan
Jln. Kol. H. Burlan Km. 6 No. 83 Palembang
Email: yuana_juwita@yahoo.com

ABSTRAK

Besi (Fe) dan seng (Zn) dalam beras merupakan alternatif utama sumber nutrisi mikro bagi penduduk di Indonesia. Defisiensi nutrisi ini dapat berakibat terhadap penurunan IQ pada anak-anak dan menimbulkan berbagai penyakit degeneratif pada usia produktif sehingga akan berdampak terhadap penurunan kualitas sumber daya manusia. Peningkatan nutrisi Fe dan Zn sangat diperlukan karena selain kandungannya dalam beras belum memenuhi kebutuhan asupan harian yang dianjurkan juga sebagai upaya antisipasi konsekuensi dari menurunnya konsumsi beras oleh masyarakat. Rendahnya kandungan gizi Fe dan Zn dalam beras antara lain akibat pengelolaan lahan sawah secara intensif, meliputi pemberian hara NPK terus menerus, tidak berimbang dan berlebihan terutama hara N dan P, hara mikro Fe dan Zn tidak diberikan melalui pupuk buatan dan atau terkuras akibat terangkut melalui tanaman yang dipanen, bahan organik tanah rendah akibat pengabaian pengembalian sisa tanaman, dan penggenangan pada sistem sawah. Faktor-faktor tersebut berakibat terhadap: (1) Fe dan Zn mengendap dan serapannya dalam tanaman rendah jika pemberian P berlebihan, (2) defisiensi Fe jika pemberian N berlebihan akibat tingginya penyerapan N dan meningkatnya laju pertumbuhan, dan (3) Fe menjadi berlebihan, memfiksasi dan menurunkan serapan P atau kurang larut, masing-masing pada pH agak masam atau pada pH netral akibat penggenangan dalam sistem sawah. Penerapan konsepsi pemberian hara NPK berimbang merupakan upaya alternatif untuk mengatasi masalah tersebut namun efisiensinya sangat ditentukan oleh jenis tanah, ketersediaan dan penambahan bahan organik serta varietas. Tanah Inceptisol berpasir dan Vertisol mempunyai tekstur tanah yang berbeda namun keduanya mempunyai sifat-sifat fisika dan kimia tanah yang buruk antara lain stabilitas agregat dan kandungan bahan organik rendah dengan pH tanah netral sampai agak alkalis. Penambahan bahan organik jerami dan pupuk kandang kaya Fe dan Zn berpotensi dalam perbaikan sifat-sifat fisika dan biologi tanah serta sebagai penyedia dan pelarut unsur hara makro dan mikro. Tulisan ini mengulas upaya-upaya alternatif peningkatan nutrisi Fe dan Zn dalam beras antara lain melalui pemupukan anorganik NPK berimbang dan kombinasinya dengan pupuk organik berbasis jerami serta penggunaan varietas padi efisien dalam menyerap dan menggunakan unsur hara. Sampai saat ini ulasan aspek-aspek budidaya tersebut telah banyak dilaporkan namun masih terbatas pada produktivitas, belum berorientasi pada kualitas Fe dan Zn dalam beras.

Kata Kunci: Bahan Organik, Fe dan Zn Beras, Inceptisol, NPK Berimbang, Varietas Efisien, Vertisol Fe dan Zn Beras

ABSTRACT

Iron (Fe) and zinc (Zn) in rice are the main alternative sources of micronutrients for the population in Indonesia. Deficiencies of these nutritional can result to a decrease in IQ for children and cause various degenerative diseases at productive age so that it will have an impact on the decline in the quality of human resources. Increased nutrition of Fe and Zn is very necessary because in addition to its content in rice it has not fulfilled the recommended daily intake needs as well as an effort to anticipate the consequences of decreasing consumption rice by the community. The low nutrient content of Fe and Zn in rice, among others, is due to intensive management of paddy fields, including the provision of continuous NPK nutrients, unbalanced and excessive especially N and P nutrients, Fe

and Zn micro nutrients not given through artificial fertilizers and / or drained due to transport through harvested plants, low soil organic matter due to neglect of returning crop residues, and flooding in the rice field system. These factors have an effect on: (1) Fe and Zn settles and their absorption in plants is low if administration P is excessive, (2) deficiency Fe if excessive N administration is due to high absorption N and increased growth rate, and (3) Fe becomes excessive, fixates and decreases uptake P or insoluble, each at a slightly acidic pH or at a neutral pH due to flooding in the rice field system. Application conception of giving NPK nutrient balanced is an alternative effort to overcome this problem but its efficiency largely determined by soil type, availability and addition organic materials and varieties. Sandy Inceptisol soil and Vertisol has a different soil texture but both have poor physical and chemical bad such as aggregate stability and low organic matter content with a neutral soil pH to slightly alkaline. The addition of straw organic matter and manure rich in Fe and Zn has the potential to improve the physical and biological of soil as soon as a provider and solvent of macro and micro nutrients. This paper reviews alternative efforts to increase Fe and Zn nutrition in rice such as through balanced NPK inorganic fertilization and its combination with straw-based organic fertilizer as soon as the use of rice varieties is efficient in absorbing and using nutrients. Until now, many aspects of cultivation have been reviewed but still limited to productivity, it has not been oriented on quality of Fe and Zn in rice.

Keywords: *balanced NPK, efficient varieties Fe and Zn rice, organic ingredients, Inceptisol, Vertisol*

PENDAHULUAN

Lahan sawah merupakan agroekosistem utama dalam implementasi teknologi pemupukan dan teknologi varietas. Data statistik menunjukkan, dengan produktivitas rata-rata 4,82 ton/ha dan luas panen 10,71 juta ha, kontribusi lahan sawah terhadap produksi padi di Indonesia mencapai 95% (Basisdata Statistik Pertanian, 2007). Implementasi teknologi tersebut telah memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan produksi padi sehingga Indonesia mencapai swasembada beras mulai tahun 1984 (Badan Litbang Pertanian, 2005; Apriyantono, 2006).

Namun peningkatan produksi padi belum disertai peningkatan asupan nutrisi mikro dalam beras, antara lain besi (Fe) dan seng (Zn). Berdasarkan data FAOSTAT (2005), konsumsi beras di Indonesia (g/orang/hari) turun sebesar 2,87% dalam kurun waktu 1990-2005. Konsekuensi dari penurunan tersebut adalah diperlukannya beras dengan nutrisi Fe dan Zn

yang lebih tinggi karena bagi masyarakat Indonesia terutama bagi sekitar 39 juta penduduk miskin, beras adalah alternatif utama pensuplai gizi mikro. Sementara saat ini kandungan nutrisi Fe dan Zn dalam beras masih lebih rendah dari kebutuhan asupan yang dianjurkan.

Konsumsi beras di Indonesia sebesar 345,34 g/orang/hari (FAOSTAT, 2005) dan kebutuhan asupan nutrisi mikro Fe dan Zn masing-masing 9-27 dan 12-15 mg/orang/hari (Higdon, 2007; Welch, 2007). Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, beras yang dikonsumsi minimal mengandung Fe 26,1-78,2 ppm dan Zn 34,7-43,4 ppm. Namun dari data hasil penelitian Indrasari (2006) menunjukkan, kandungan nutrisi mikro Fe dan Zn dalam beras masing-masing hanya sekitar 9,4-16,2 (rata-rata 11,68) dan 18,4-35,0 (rata-rata 23,89) ppm.

Peran penting nutrisi Fe bagi manusia adalah dalam pembentukan hemoglobin. Sedangkan Zn berperan dalam proses

penggunaan vitamin A serta pembentukan struktur dan fungsi otak (Eschlemen, 1996 dan Gillespie, 1998 *dalam* Nasution, 2004). Asupan Fe yang rendah dapat berakibat terhadap anemia pada wanita hamil, balita dan anak-anak. Anemia serta defisiensi Zn dan vitamin A pada anak-anak menyebabkan kerusakan sel otak, abnormalitas, kematian dan penurunan IQ (Brown *et al.*, 1998; Black *et al.*, 1998; Hafisah, 2006).

Dari berbagai review (Atmosukarto dan Rahmawati, 2003; Wesling-Resnick, 2007; King, 2007; Winarsih, 2007) dikemukakan bahwa nutrisi Fe dan Zn juga berperan sebagai antioksidan enzimatis yang dapat menghambat aktivitas radikal bebas. Kekurangan asupan nutrisi ini akan berdampak terhadap timbulnya berbagai penyakit degeneratif, diantaranya kanker, diabetes, penyumbatan pembuluh darah, stroke, tekanan darah tinggi, terganggunya sistem imun tubuh dan HIV (Kodyat *et al.*, 1998; Gladyshev *et al.*, 1999; Yulianto, 2004; Sauriasari, 2006; Ardiansyah, 2007).

Seperti pada manusia, unsur hara mikro Fe dan Zn diperlukan tanaman dalam jumlah sedikit tetapi peranannya sangat penting. Sesuai dengan fungsi dan peranannya (Romheld dan Nicolic, 2007), kahat unsur hara Fe dalam tanaman dapat menghambat aktivitas enzim, sintesis khlorofil dan sintesis protein. Sedangkan kahat Zn antara lain dapat menghambat pembelahan sel akar dan menurunkan biomas akar (Hajiboland *et al.*, 2005). Dari review Crowley dan Rengel (1999) dikemukakan bahwa kahat Zn memicu kerusakan oksidatif di tingkat seluler akibat aktivitas senyawa oksigen reaktif

(Reactive Oxygen Species/ROS). ROS memicu peroksidasi lemak, denaturasi protein, mutasi DNA, dan menghambat peran enzim superoxide dismutase (SOD) yang dapat mendetoksifikasi ROS. Gangguan-gangguan tersebut dapat menghambat aktivitas penyerapan hara, fotosintesis dan menurunkan produktivitas tanaman padi.

Pengelolaan lahan sawah secara intensif dilaporkan dapat berakibat terhadap rendahnya ketersediaan Fe dan Zn dalam tanah dan serapannya oleh tanaman. Pengelolaan yang intensif meliputi: (1) pemberian hara NPK terus menerus, tidak berimbang dan berlebihan, terutama hara N dan P (Abdulrachman dan Sembiring, 2006), (2) hara mikro Fe dan Zn tidak diberikan melalui pupuk buatan dan atau terkuras akibat terangkut melalui tanaman yang dipanen (Setyorini *et al.*, 2004), (3) bahan organik tanah rendah (< 2%) akibat pengabaian pengembalian sisa tanaman (Karama *et al.*, 1990; Adiningsih *et al.*, 2004; Sumarno, 2007), dan (4) penggenangan sawah dilakukan secara terus menerus (Adiningsih *et al.*, 2004).

Berdasarkan uraian di atas dapat dikemukakan bahwa rendahnya gizi mikro Fe dan Zn dalam beras, menurunnya konsumsi beras terutama oleh penduduk miskin dan rendahnya ketersediaan dalam tanah dan serapannya oleh tanaman padi akibat pengelolaan lahan sawah secara intensif akan berdampak terhadap penurunan kualitas sumberdaya manusia. Oleh karena itu peningkatan nutrisi Fe dan Zn dalam beras sangat diperlukan.

POTENSI TANAH DAN IDENTIFIKASI MASALAH

Inceptisol merupakan jenis tanah dengan penyebaran paling luas, sekitar 70,25 juta ha atau 37,5% dari luas daratan di Indonesia (Puslittanak, 2002). Padi sawah terutama di pulau Jawa umumnya di tanam pada jenis tanah ini (Guswono, 1983; Suganda *et al.*, 2006).

Tekstur tanah Inceptisol beragam mulai dari berlempung, geluh sampai berpasir (Subagyo *et al.*, 2004). Tanah bertekstur pasir mempunyai produktivitas rendah akibat sifat-sifat fisika tanah yang kurang baik, diantaranya tekstur kasar, kemantapan agregat rendah dan kemampuan menyimpan air rendah. Kendala sifat-sifat kimia yang dihadapi pada tanah berpasir adalah rendahnya kandungan nitrogen dan kapasitas pertukaran kation (Thompson dan Troeh, 1978; Brady, 1990; Sanchez, 1992).

Efisiensi penambahan hara pada tanah berpasir rendah karena rendahnya kandungan bahan organik dan lempung sehingga daya menahan hara rendah. Hal tersebut berakibat terhadap banyaknya hara yang ikut terlindi bersama air perkolasi, diantaranya hara Fe dan Zn. Karena ketersediaan unsur hara Fe dan Zn eksisting dalam tanah umumnya rendah (Brady, 1990), pelindian Zn menjadi kendala serius pada tanah bertekstur pasir (Santoso *et al.*, 2005; Suriadikarta *et al.*, 2005).

Jenis tanah lainnya yang potensial di Indonesia adalah Vertisol dengan luas mencapai 2,1 juta hektar (Puslittanak, 2000). Sebaran penanaman padi sawah pada tanah ini sekitar 6,7% (Radjaguguk, 2006) atau menempati urutan ke-4 dari 7 jenis tanah lainnya, yaitu tanah

Aluvial dan tanah Gley (55,2%), Latosol/Inceptisol (17,15%), Regosol (7,6%), Podsolik (5,7%), Mediteran (3,8%), dan Andosol (1,0%).

Ciri tanah Vertisol adalah hitam dan subur, kapasitas pertukaran kation tinggi sampai sangat tinggi, pH sekitar 5,5 hingga 7,4, mineral liat didominasi oleh smektit (2:1). Kation dapat ditukar yang mendominasi Vertisol tergantung dari bahan induk tanah. Prasetyo (2007) melaporkan, Vertisol yang berasal dari bahan induk vulkan, gamping dan ultrabasa periodetit masing-masing didominasi oleh Ca^{2+} diikuti oleh Mg^{2+} , Ca^{2+} dan Mg^{2+} .

Kendala sifat-sifat fisika tanah Vertisol antara lain tekstur lempung berat, sifat mengembang dan mengerut, kecepatan infiltrasi air rendah dan drainase lambat (Mukanda dan Mapiki, 2001; Prasetyo *et al.*, 2004). Kendala kimia yang dihadapi adalah kandungan bahan organik rendah sampai sangat rendah (Supardi dan Widjaya-Adhi, 1989; Puslittanak, 1994).

Ketersediaan unsur mikro Fe dan Zn yang rendah dalam tanah dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain pH, mineral lempung, ketersediaan unsur hara yang lain, dan bahan organik. Ringkasan pengaruh masing-masing faktor tersebut sebagai berikut: (1) Fe tidak dapat larut pada kisaran pH normal namun kelarutannya dapat ditingkatkan dengan pembentukan kompleks atau pengkhelatan Fe oleh senyawa humat tanah (Fitter dan Hay, 1994; Tan, 1998), (2) Fe menjadi berlebihan, memfiksasi dan menurunkan serapan P atau kurang larut, masing-masing pada pH agak

masam atau pada pH netral, (3) pada pH tinggi (6-8) Zn mengendap dalam bentuk $\text{Zn}(\text{OH})_2$ (Boggs dalam Thorne, 1957; Fageria *et al.*, 1997a; Fageria *et al.*, 2002; Lindsay, 1972 dalam Prasetyo *et al.*, 2004), (4) pada pH sekitar netral (5,5-7) Zn terikat sebagai sulfida yang mengendap (Ponnamperuna, 1978), (5) Zn mensubstitusi Mg^{2+} dan terfiksasi oleh mineral lempung 2:1 (Brady, 1990), (6) Zn dan P kurang tersedia karena mengendap dalam bentuk $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$ jika pemberian fosfat berlebihan (Yoshida, 1981; Adiningsih *et al.*, 2004), (7) Zn mengendap sebagai ZnCO_3 pada tanah mengandung Ca tinggi, dan (8) Fe^{2+} dan Zn^{2+} bersaing dengan Ca^{2+} untuk mendapatkan senyawa organik pengkkelat.

ALTERNATIF PEMECAHAN MASALAH

Upaya untuk mengatasi permasalahan tersebut antara lain melalui intervensi dalam aspek pengelolaan (budidaya) berbasis efisiensi, usahatani ramah lingkungan dan berkelanjutan. Peluang dalam rekayasa teknologi budidaya antara lain dengan kombinasi pemberian pupuk anorganik NPK, pupuk organik berbasis jerami dan penggunaan varietas padi efisien dalam menyerap dan menggunakan hara.

Pemberian Pupuk Anorganik NPK dan Pupuk Organik Berbasis Jerami

Dalam aspek budidaya, pertumbuhan dan hasil tanaman padi optimal serta peningkatan nutrisi Fe dan Zn dalam beras diduga dapat dicapai melalui kombinasi pemberian pupuk NPK tepat jumlah dan rasio dan pemberian

bahan organik. Penelitian ini perlu dilakukan mengingat sampai saat ini, laporan mengenai pengaruh pemberian hara NPK berimbang terhadap dinamika serapan Fe dan Zn dalam tanaman padi, terutama dalam beras masih terbatas.

Pengaruh pemberian NPK terhadap ketersediaan dan serapan Fe dan Zn telah banyak dilaporkan namun masih parsial dan atau tidak berimbang serta berorientasi pada pertumbuhan dan produktivitas, antara lain: (1) serapan unsur hara makro dan mikro, termasuk Fe dan Zn meningkat dengan pemberian pupuk N (Winarso, 2005) namun peningkatan takaran N sampai 600 kg/ha dapat menurunkan ketersediaan Zn dalam tanah (Hartatik dan Adiningsih, 2003), (3) serapan N tinggi mendorong terjadinya defisiensi Fe akibat peningkatan laju pertumbuhan, (4) kelebihan P dapat menyebabkan terjadinya kekurangan Cu, Fe, dan Zn dalam tanah dan penurunan serapannya oleh tanaman (Brady, 1990; Santoso *et al.*, 2004; Prasetyo *et al.*, 2004), (5) peningkatan takaran pupuk P menurunkan kandungan Zn dalam daun jagung (Santoso *et al.*, 2001), (6) K meningkatkan mobilitas dan kelarutan Fe, (7) tanaman kekurangan K tidak dapat memanfaatkan air dan hara yang efisien baik yang berasal dari tanah maupun pupuk (Ismunadji, 1989), dan (8) kadar K yang rendah dalam tanaman akan menghambat kecepatan fotosintesis, pembentukan dan translokasi karbohidrat dan hara dari jerami ke gabah (Santoso dan Adiningsih, 1987; Adiningsih, 1988). Dengan demikian pemberian NPK dengan kombinasi tepat sangat diperlukan untuk

meningkatkan serapan, produktivitas padi dan akumulasi unsur hara Fe dan Zn dalam beras.

Keseimbangan Pemberian Hara Anorganik NPK

Pemupukan NPK berlebihan menyebabkan terjadinya ketidakseimbangan unsur hara dalam tanah. Hal tersebut berdampak terhadap penurunan efisiensi pemupukan serta terjadinya keracunan dan kompetisi atau antagonisme antar hara. Penerapan konsepsi pemberian hara berimbang terutama NPK merupakan upaya alternatif untuk mengatasi masalah tersebut.

Pemberian hara berimbang adalah pemberian hara sesuai kebutuhan tanaman dan tingkat ketersediaan hara dalam tanah (Fagi dan Makarim, 1990; Dobermann *et al.*, 1996; Dobermann dan Fairhurst, 2000; Makarim *et al.*, 1992; Makarim, 2006). Hal ini dapat dilakukan dengan menambah hara yang kurang dan atau tanpa penambahan hara yang telah berlebih. Menurut Adiningsih dan Soepartini (1995), keadaan hara yang seimbang akan menciptakan interaksi antara hara secara optimal, mencegah kompetisi atau antagonisme antar hara serta menghindarkan timbulnya keracunan hara.

Mengacu pada konsepsi pemberian hara berimbang, keperluan hara tanaman padi dapat diduga melalui serapan hara NPK optimal. Menurut Witt *et al.* (1999), Dobermann dan Fairhurst (2000) Dobermann dan Witt (2004), keseimbangan hara optimal dalam tanaman padi berdasarkan hasil penelitian di enam negara di Asia dicapai pada 14,7 kg N, 2,6 kg P dan 14,5 kg K per ton hasil biji (N:P:K = 5,7:1:5,6).

Sedangkan berdasarkan hasil penelitian di 113 lokasi sawah irigasi di pulau Jawa dan Bali, serapan hara NPK optimal dicapai pada 18,8 kg N, 2,4 kg P dan 16,2 kg K per ton hasil biji (Makarim, 2006). Serapan hara tersebut valid sampai pada titik target hasil 80% hasil potensial.

Pemberian Pupuk Organik Berbasis Jerami

Efisiensi pemupukan NPK antara lain sangat ditentukan oleh ketersediaan bahan organik tanah. Tanah yang miskin bahan organik akan berkurang daya menyangga dan berkurang keefisienan pupuk karena sebagian hilang dari lingkungan perakaran. Penambahan bahan organik merupakan salah satu tindakan perbaikan lingkungan tumbuh tanaman untuk meningkatkan atau mengoptimalkan manfaat pupuk (Go Ban Hong, 1977; Adiningsih, 1988).

Peran penting penambahan bahan organik di dalam tanah diperoleh melalui pengaruhnya terhadap sifat-sifat fisika, biologi dan kimia tanah. Secara fisika bahan organik berpengaruh pada struktur tanah, aerasi dan retensi air baik pada tanah berpasir maupun pada tanah lempung berat. Secara biologi bahan organik berfungsi sebagai substrat dan mempengaruhi aktivitas mikroorganisme tanah, antara lain organisme penambat N udara dan pelarut P (Stevenson, 1982; Foth, 1990; Abdulrachman dan Adiningsih, 2000; Suriadikarta *et al.*, 2005; Makarim dan Suhartatik, 2006).

Perbaikan sifat-sifat fisika tanah terjadi karena bahan organik meningkatkan humus tanah. Sifat liat (plastisitas) dan kohesi humus yang rendah meningkatkan struktur tanah

bertekstur halus serta meningkatkan granulasi dan stabilitas agregat tanah yang secara tidak langsung memperbaiki ketersediaan unsur hara. Meningkatnya retensi air berkaitan dengan luas permukaan dan kemampuan adsorpsi humus yang lebih besar daripada lempung (Sanchez, 1992; Stevenson, 1982; Brady, 1990; Adiningsih *et al.*, 2004).

Peran utama bahan organik dalam mempengaruhi sifat-sifat kimia tanah diantaranya: (1) menyediakan hara makro dan mikro bagi tanaman, (2) mengikat hara atau meningkatkan daya menahan kation (KTK) maupun anion (KTA) sehingga hara tidak mudah hilang dari tanah, (3) menurunkan jerapan P oleh tanah, (4) menetralkan keracunan Al^{3+} dan Fe^{2+} serta menambah ketersediaan hara mikro Cu dan Zn (Stevenson, 1982; Tsutsuki, 1993; Myers *et al.*, 1994; Suriadikarta *et al.*, 2005; Makarim dan Suhartatik, 2006). Hal ini sesuai dengan yang dikemukakan oleh Stevenson dan Fitch (1997) dan Tan (1998) bahwa bahan organik berperan penting dalam mengontrol keseimbangan hara mikro dalam tanah.

Substansi humus meliputi asam humat, asam fulvat dan asam-asam organik yang lain (Hayes dan Swift, 1990; Stevenson, 1982). Gugus fungsional asam humat dan fulvat seperti karboksil (R-COOH), hidroksil fenolik (R-COH) dan hidroksil alkoholik (Schnitzer, 1981; Smith *et al.*, 1993) akan bereaksi dengan ion logam Fe, Mn, Cu dan Zn membentuk khelat. Tan (1998) dan Nyakpa *et al.* (1988) mengemukakan, khelat berfungsi sebagai agen pengatur yang membantu mengurangi keracunan unsur mikro, mempertahankan hara mikro

terlarut pada tingkat mencukupi dan akan melindungi unsur-unsur tersebut dari proses pengendapan oleh ion hidroksil (OH^-). Pada suatu saat unsur hara mikro tersebut akan dilepaskan lagi sehingga tersedia bagi tanaman.

Sumber bahan organik yang tersedia *insitu*, kontinyu dan dalam jumlah banyak serta potensial sebagai sumber hara mikro adalah jerami. Dikemukakan oleh Setyorini *et al.* (2004), sekitar 60 persen Zn dan 50 persen Fe yang diserap tanaman terdapat dalam jerami. Berdasarkan data yang dilaporkan Tan (1993), jerami mengandung hara Fe dan Zn masing-masing 427 dan 67 ppm. Kandungan hara tersebut tertinggi dibandingkan dengan sisa tanaman lainnya seperti gandum, jagung, kacang tanah, kedelai, kentang, dan ubi jalar.

Sumber bahan organik potensial lainnya adalah pupuk kandang sapi. Selain mengandung Fe lebih tinggi (43,75%) dibandingkan pupuk kandang kambing (17,62%) dan ayam (18,26%) (Abdulrachman *et al.*, 2000), pupuk kandang sapi juga mengandung Zn yang lebih tinggi yaitu 876 ppm (Banik dan Nandi, 2004). Dengan demikian Zn yang rendah pada jerami dapat disubstitusi dari pupuk kandang. Kombinasi takaran yang tepat dalam pemanfaatan kedua bahan organik tersebut diduga dapat meningkatkan ketersediaan Fe dan Zn dalam tanah, serapannya oleh tanaman dan akumulasinya dalam beras.

Jerami dan pupuk kandang menyediakan unsur hara makro dan mikro relatif lengkap dan seimbang namun secara kuantitas kandungan hara tersebut lebih rendah dari pupuk anorganik (Winarso, 2005; Suriadikarta *et al.*, 2005). Oleh

karena itu untuk meningkatkan efisiensi pemupukan, produktivitas dan kualitas hasil, pemberian bahan organik perlu dikombinasikan dengan pupuk anorganik NPK tepat jumlah dan rasio.

Penggunaan Varietas Padi Efisien

Respon tanaman terhadap pemupukan NPK dan atau penambahan bahan organik sangat ditentukan oleh faktor varietas. Karakter varietas yang dikehendaki tidak hanya efisien dalam menyerap hara namun efisien dalam menggunakannya dan mencakup efisiensi morfologi dan fisiologi.

Efisiensi morfologi antara lain ditentukan oleh: (1) karakteristik akar diantaranya bobot kering, panjang dan luas akar (Yang *et al.*, 2004; Hajiboland *et al.*, 2005; Pedas *et al.*, 2005), dan (2) karakteristik tajuk tanaman. Menurut Makarim *et al.* (2000), karakteristik efisiensi tajuk yaitu tanaman efektif dalam menangkap radiasi matahari namun sedikit respirasi atau bobot jaringan vegetatif rendah.

Sedangkan efisiensi fisiologi adalah efisien dalam partisi fotosintat dan hara, yaitu mudahnya translokasi fotosintat dan hara dari satu jaringan ke jaringan lainnya yang memerlukan atau fotosintat dan hara yang telah diserap dapat digunakan tanaman sebaik mungkin, sehingga terjadi peningkatan nisbah tajuk- akar (De Willigen dan Van Noordewijk, 1987 dalam Sitompul dan Guritno, 1995; Taylor, 1981) dan nisbah gabah (biji)-biomas (Baligar dan Fageria, 1997; Sinclair, 1998; Makarim *et al.*, 2000).

Parameter-parameter identifikasi dan seleksi varietas efisien antara lain efisiensi serapan hara, efisiensi penggunaan hara, efisiensi fisiologi, efisiensi agrofisiologi (Baligar dan Fageria, 1997; Jansen, 1998; Goods *et al.*, 2004; Fageria dan Baligar, 2005), dan indeks efisiensi hasil (Graham, 1984). Fageria (2001) mengemukakan, meskipun pengaruh perlakuan pemberian hara tidak nyata namun seleksi varietas efisien melalui indeks efisiensi hasil dapat dilakukan pada varietas dengan peningkatan hasil 5-10%.

Identifikasi dan terpilihnya varietas lokal dan atau varietas unggul mengandung atau efisien menyerap serta menggunakan hara mikro Fe dan Zn merupakan luaran yang berpeluang dikembangkan dan mudah diadopsi oleh petani, antara lain karena: (1) varietas-varietas tersebut, terutama varietas lokal telah terseleksi secara alami sesuai daya dukung sumberdaya yang ada (input rendah), dan (2) petani relatif telah menguasai pengelolaannya.

Disamping itu berdasarkan review hasil penelitian pada tiga lokasi di Bangladesh (www.css.cornell.edu/foodsystems/ricewheat), dikemukakan bahwa penanaman benih kaya unsur hara mikro dapat: (1) meningkatkan hasil padi varietas BR 12 sebesar 1,1 t/ha, dan (2) meningkatkan hasil gandum sekitar 0,62-0,84 t/ha. Peningkatan hasil tersebut didukung oleh tingginya vigor dan viabilitas bibit yang kaya unsur mikro. Dengan demikian penggunaan varietas mengandung nutrisi Fe dan Zn tinggi dalam beras dan efisien hara, sangat potensial dalam peningkatan hasil dan kualitas hasil serta

mendukung efisiensi usahatani dan sistem usahatani berkelanjutan.

PENUTUP

1. Peningkatan nutrisi Fe dan Zn dalam beras relevan dilaksanakan pada kondisi saat ini. Selain kandungannya dalam beras belum memenuhi kebutuhan asupan harian yang dianjurkan juga sebagai upaya antisipasi konsekuensi dari menurunnya konsumsi beras oleh masyarakat dan upaya peningkatan sumberdaya manusia.
2. Penyebab rendahnya kandungan Fe dan Zn dalam beras antara lain pemberian hara NPK berlebihan, tidak seimbang dan terus menerus sehingga berakibat terhadap: (1) mengendapnya Fe dan Zn dan serapannya dalam tanaman rendah jika pemberian P berlebihan, (2) defisiensi Fe jika pemberian N berlebihan akibat tingginya penyerapan N dan meningkatnya laju pertumbuhan, dan (3) Fe menjadi berlebihan, memfiksasi dan menurunkan serapan P atau kurang larut, masing-masing pada pH agak masam atau pada pH netral akibat penggenangan dalam sistem sawah.
3. Potensi dan pemanfaatan tanah Inceptisol berpasir dan Vertisol cukup besar di Indonesia. Perbedaan tekstur tanah berakibat terhadap kurang baiknya sifat-sifat fisika dan kimia tanah kedua jenis tanah tersebut, antara lain stabilitas agregat dan kandungan bahan organik rendah dengan pH tanah agak masam sampai agak alkalis.
4. Upaya alternatif untuk mengatasi masalah tersebut adalah penerapan konsepsi

pemberian hara NPK berimbang dengan tetap mempertimbangkan jenis tanah, ketersediaan dan penambahan bahan organik serta penggunaan varietas yang tepat (respon dan efisien).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada Dr. Ir. Yustisia, MSi yang telah memberikan arahan dan bimbingan dalam penulisan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulrachman, S., dan J.S. Adiningsih. 2000. *Indonesia is lowland rice production and its soil fertility management*. International Workshop on Improving Soil Fertility Management in Southeast Asia, Bogor, Indonesia 21-23 November 2000.
- Abdurachman, A., I. Juarsah, dan U. Kurnia. 2000. *Pengaruh penggunaan berbagai jenis dan takaran pupuk kandang terhadap produktivitas tanah Ultisol terdegradasi di Desa Batin, Jambi*. hal. 303-319. Dalam Pros. Seminar Nasional Sumberdaya Tanah, Iklim, dan Pupuk. Buku II. Bogor, 6-8 Desember 1999. Puslit Tanah dan Agroklimat. Bogor.
- Abdulrachman, S., dan H. Sembiring. 2006. *Penentuan takaran pupuk fosfat untuk tanaman padi sawah*. Iptek Tanaman Pangan. 1(1):79-87.
- Adiningsih, J.S. 1988. *Peranan limbah pertanian khususnya jerami dalam penerapan pemupukan berimbang*. Prosiding Pertemuan Teknis Penelitian Tanah, Cipayung, 18-20 Maret 1986. Puslit Tanah. Bogor.
- Adiningsih, J.S., A. Sofyan, dan D. Nursyamsi. 2004. *Lahan Sawah dan Pengelolaannya*. hal. 165-196. Dalam A. Adimihardja et al. (penyunting). *Sumberdaya Lahan Indonesia dan Pengelolaannya*. Puslitbang Tanah dan Agroklimat. Bogor.

- Allard, R.W. 1960. *Principle of Plant Breeding*. John Wiley & Sons Inc. New York.
- Alloway, J.B. 2003. *Zinc in Soil and Crop Nutrition*. www.zinc.com.
- Apriyantono, A. 2006. *Pelaksanaan program revitalisasi pertanian: Keberhasilan dan hambatan*. Seminar Nasional Revitalisasi Kebijakan Pertanian Menuju Industrialisasi Pertanian yang Berkeadilan dan Berkelanjutan. Yogyakarta, 8-9 Desember 2006.
- Atmosukarto, K., dan M. Rahmawati. 2003. *Mencegah penyakit degeneratif dengan makanan*. Cermin Dunia Kedokteran. 140:41-49.
- Badan Litbang Pertanian. 2005. *Rencana Aksi Pemantapan Ketahanan Pangan 2005-2010*. Departemen Pertanian. Jakarta.
- Baligar, V.C., and N.K. Fageria. 1997. *Nutrient use efficiency in acid soils: nutrient management and plant use efficiency*. pp. 75-95. In A.C. Moniz et al. (eds.). *Plant-Soil Interactions at Low pH*. Braz. Soil Sci. Soc. Brazil.
- Basisdata Statistik Pertanian. 2007. www.deptan.go.id/basisdata/isi-basisdata.
- Benckiser, G., J.C.G. Ottow, S. Santiago, and I. Wanatabe. 1982. *Physico-chemical characterization of iron toxic soils in some Asian countries*. IRRI Res. Pap.Ser. 85.
- Black, M.M. 1998. *Zinc deficiency and child development*. Am. J. Clin. Nutr. 68:464S-8S.
- Bloom, P.R., and W.P. Inskeep. 1988. *Factors affecting bicarbonate chemistry iron chlorosis in soil*. J. Plant Nutr. 9:215-228.
- Blum, A. 1988. *Plant Breeding for Stress Environment*. CRC Press. Inc. Boca Raton, Florida.
- Bodek, I., W.J. Lyman, W.F. Reehl, and D.H. Rosenblatt. 1988. *Environmental inorganic chemistry: Properties, processes and estimation methods*. In B.T. Walton and R.A. Conway (eds.). SETAC Special Publication Series. Pergamon Press. New York.
- Brady, N.C. 1990. *The Nature and Properties of Soils*. The MacMillan Publishing Company. New York.
- Brohi, A.R., M.R. Karaman, M.T. Topbas, A. Aktas, and E.Savas. 2000. *Effect of potassium and magnesium fertilization on yield and nutrient content of rice crop grown on artificial siltation soil*. Turk. J. Agric. For. 24:429-435.
- Brown, K.H. 1998. *Effect on infection on plasma zinc concentration and implications for zinc status assesment in low income countries*. Am. J. Clin. Nutr. 68:464S-469S.
- Budi, D.S., dan J. Munarso. 2001. *Perbaikan produktivitas dan mutu hasil padi gogorancah melalui pemupukan kalium dan pengelolaan pupuk kandang*. Penelitian Pertanian Tanaman Pangan. 20(2):19-26.
- Cakmak, I., and E. Engles. 1999. *Role of mineral nutrients in photosynthesis and yield formation*. pp. 205-223. In Z. Rengel. (ed.). *Mineral Nutrition of Crops: Fundamentals Mechanism and Implication*. Haworth Press, Inc. New York.
- Crowley, D.E, and Z. Rengel. 1999. *Biology and chemistry of nutrient availability in rhizosphere*. pp. 1-40. In Z. Rengel (ed.). *Mineral Nutritions of Crops: Fundamentals Mechanism and Implication*. Haworth Press, Inc. New York.
- Dobermann, A., and P.F. White. 1999. *Strategies for nutrient management in irrigated and rainfed lowland rice system*. pp. 1-26 In V. Balasubramanian et al. (eds.). *Resource Management in Rice System: Nutrient*. Kluwer Academic Publisher. IRRI.
- Dobermann, A., and T. Fairhurst. 2000. *Rice: Nutrient Disorders and Nutrient Management*. Potash and Phosphat Institute (PPI). Potash and Phosphat Institute of Canada (PPIC) and International Rice Research Institute (IRRI). Los Banos.
- Dobermann, A., and C. Witt. 2004. *The Evolution of site-specific nutrient management in irrigated rice systems of Asia*. pp. 75-99. In A. Dobermann, et al.(eds.). *Increasing Productivity of Intensive Rice Systems through Site-Specific Nutrient Management*. Enfield. NH(USA)

- and Los Banos (Phillippines): Science Publishers Inc. and IRRI.
- De datta, S.K., and F.E. Broadbent. 1988. *Metodology for evaluating nitrogen utilization efficiency by rice genotypes*. Agron. J. 80:793-798.
- De Datta, S.K., K.A. Gomez, R.W. Herdt, and R. Barker. 1987. *A Handbook on the Methodology for an Integrated Experiment-Survey on Rice Yield Constraints*. The International Rice Research Institute, Los Banos.
- Dey, M.M., and M. Hossain. 1995. *Yield potential and modern rice varieties: an assesment of technological constraints to increase rice production*. In Proceeding of the of the Final Workshop Projections and Policy Implications and Medium and Long-term Rice Supply and Demand Project. Beijing, China, 23-26 April 1995.
- Epstein, E, and A.J. Bloom. 2005. *Mineral Nutrition of Plant: Principle and Perspectives*. Sinauer Associates, Inc. Publisher, Sunderland, Massashusetts.
- Fageria, N. K., V.C. Baligar, and C.A Jones. 1997. *Growth and Nutrition of Field Crops* 2nd ed. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Fageria, N.K. 2001. *Screening method of lowland rice genotypes for zinc uptake efficiency*. Sci.agric. 58(3).
- Fageria, N.K., V.C. Baligar, and RB. Clarck. 2002. *Micronutrients in crop production*. Adv. Agron. 77:185-268.
- Fageria, N.K., and V.C. Baligar. 2005. *Growth components and zinc recovery efficiency of upland rice genotypes*. Pesq. Agropec. Bras., Brasilia. 40(12):1211-1215.
- FAOSTAT. 2005. Food consumption. faostat.fao.org/site/342/default.aspx.
- Follet, R.H., L.S. Murphy, and R.L. Donahue. 1981. *Fertility and Soil Amandement*. Prentice Hall Inc. Englewood Cliffts, New Jersey.
- Foth, H.D. 1990. *Fundamental of Soil Science*. John Wiley & Sons Inc. New York.
- Gardner, F.P., R.B. Pearce, and R.L. Mitchell. 1985. *Physiology of Crop Plants*. Iowa State University Press. Ames.
- Good, A.G., A.K. Shrawat, and D. Muench. 2004. *Can less yield more? Is reducing nutriet input into the environment compatible with maintaining crop production?*. TRENDS in Plant Science. 9(12):1360S-1365S.
- Graham, R.D. 1984. *Breeding for nutritional characteristics in cereals*. pp. 57-102. In P.B. Tinker and A. Luchli (eds.). Adv. Plant Nutr. Praeger Scientific. New York.
- Graham, R.D., and J.C.R. Stangoulis. 2003. *Trace element uptake and distribution in plants*. J. Nutr. 133:1502S-1505S
- Grewal, H.S., J.C.R. Stangoulis, T.D. Potter, and R.D. Graham. 1997. *Zinc efficiency of oilseed rape (Brassica napus and B. juncea) genotypes*. Plant Soil. 191:123-132.
- Grussak, M.A. 1996. *Plant breeding strategies for improving human mineral and vitamin nutrition*. Federation of American Scientists. <http://fas.org/mnp/micro.htm/iron>.
- Grussak, M.A., J.N. Pearson, and E. Marentes. 1999. *The physiology of micronutrient homeostatis in field crops*. Field Crops Res. 60:41-56.
- Guswono, S. 1983. *Sifat dan Ciri Tanah*. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Hafsah, J. 2006. *Pertanian dan Pangan*. hal. 71-86. Dalam J. Sutanto et al. (penyunting). *Revitalisasi Pertanian dan Dialog Peradaban*. Penerbit Buku Kompas. Jakarta.
- Hajiboland, R., X.E. Yang, and V. Romheld. 2003. *Effect of bicarbonate and high pH on growth Zn-efficient and Zn-inefficient genotypes of rice, wheat and rye*. Plant Soil. 250:349-357.
- Hajiboland, R., X.E. Yang, V. Romheld, and G. Neuman. 2005. *Effect of bicarbonate on elongation and distribution of organic acids in root and root zone of Zn-efficient an Zn-inefficient rice (Oryza sativa L.) genotypes*. Env. Exp. Bot. 54 :163-173.
- Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale, and W.L. Nelson. 2005. *Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management*. Pearson Prentice Hall. New Jersey.

- Hartatik, W., dan J.S. Adiningsih. 2003. *Evaluasi rekomendasi pemupukan NPK pada lahan sawah yang mengalami pelandaian produktivitas (levelling off)*. Prosiding seminar Nasional Inovasi Teknologi Sumberdaya Tanah dan Iklim. Bogor, 14-15 Oktober 2003. Puslitbang Tanah dan Agroklimat. Bogor.
- Hasanuddin, A., J. Wargiono, P. Wardhana, F. Kasim, dan U.G. Kartasasmita. 2006. *Analisis Kebijakan Peningkatan Produksi Padi melalui Inovasi Pengelolaan Tanaman Terpadu*. Dalam A. Hasanuddin et al. (penyunting). Analisis Kebijakan Antisipatif Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Monograf No.3. Puslitbang Tanaman Pangan. Bogor.
- Hayes, M.H.B., and R.S. Swift. 1990. *Application of polymeric substance as physical soil conditioner*. In De Boodt et al. (eds.). *Soil Colloids and their Association in Aggregates*. Plenum Press. London.
- Herlambang, S. 1999. *Fraksionasi unsur mikro Zn terhadap Zn-dd, Zn-organik, Zn-MnO₂, Zn-Fe₂O₃ kristalin pada Latosol*. AGRIVET 3(1):30-38.
- Higdon, J. 2007. Iron. <http://lpi.oregonstate.edu/infocenter/mineral/s/iron/index.html>.
- Hodgson, J.J., W.L. Lindsay, and J.F. Trierweiler. 1966. *Micronutrient cation complexes in soil solution: II. Complexing of zinc and copper in displaced solution from calcareous soils*. Soil Sci.Soc.Amer.Proc. 30:723-726.
- Hu-lin, H., W. You-zhang, Y.Xiao-e, F. Ying, and W. Chun-yong. 2007. *Effect of different nitrogen fertilizer levels on Fe, Mn, Cu and Zn concentrations in shoot and grain quality in rice*. Rice Sci. 14(4):289-294.
- Inradewa, D. 2002. *Gatra Agronomis dan Fisiologis Pengaruh Genangan dalam Parit pada Tanaman Kedelai*. [disertasi]. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Inradewa, D., S. Waluyo dan E.T. Susilaputra. 2007. *Pengaruh pemotongan akar bibit teh terhadap efisiensi pemupukan*. (dalam proses).
- Indrasari, S.D. 2006. *Kandungan mineral padi varietas unggul dan kaitannya dengan kesehatan*. Iptek Tanaman Pangan. 1(1):88-99. Puslitbang Tanaman Pangan. Bogor.
- Indrayati, L., R.S. Simatupang, dan Sardjito. 1999. *Peranan pupuk mikro Cu dan Zn dalam peningkatan hasil padi di lahan pasang surut*. Tonggak Kemajuan Teknologi Produksi Tanaman Pangan. Puslitbang Tanaman Pangan. Bogor.
- Ismunadji, M. 1989. *Kalium, Kebutuhan dan Penggunaan dalam Pertanian Modern (Terjemahan Potash, its Needs and Use in Modern Agriculture)*. Potash & Phosphate Institute of Canada. Canada-Pengembangan Mineral Saskatchewan. Gaya Teknik. Bogor.
- Ismunadji, M., dan S. Roechan. 1998. *Hara mineral tanaman padi*. hal. 231-269. Dalam M. Ismunadji et al. (penyunting). Padi. Buku 1. Puslitbang Tanaman Pangan. Bogor.
- Jansen, B.H. 1998. *Efficient use of nutrients: an art of balancing*. Field Crops Res. 56:197-201.
- Jones, J.B. 1998. *Plant Nutrition: Manual*. CRC Press. Boca Raton.
- Juliano, B.O. 1993. *Rice in Human Nutrition*. FAO The United Nations and The International Rice Research Institute. Rome.
- Kanazawa, K., K. Higuchi, N.K. Nishizawa, S. Fushiya, M.Chino, and S. Mori. 1994. *Nicotianamine aminotransferase activities are correlated with the phytosiderophore secretions under Fe-deficient conditions in Gramineae*. J. Exp. Bot. 45:1903-1906.
- Khandakar, 1994. *Manual of Method or Physio-Morphological Studies of Jute, Kenaf and Allied Germplasm*. International Jute Organization. Dhaka Bangladesh.
- Karama, A.S., A.R. Marzuki, dan I. Manwan. 1990. *Penggunaan pupuk organik pada tanaman pangan*. hal. 395-425. Prosiding lokakarya Nasional Efisiensi Penggunaan Pupuk V.Cisarua, 12-13 Nopember 1990. Puslit Tanah dan Agroklimat. Bogor.

- Kasno, A., D. Setyorini, dan Nurjaya. 2003. *Status C-organik tanah sawah di Indonesia*. Pros. HITI. Padang.
- Katyal, J.C. 1977. *Influence of organic matter on the chemical and electrochemical properties of some flooded soils*. Soil Biol. Biochem. 9:259-266.
- Kim, S.A., and M.L. Guerinot. 2007. *Mining Iron: iron uptake and transport in plants*. FEBS Letters. 581:2273-2280.
- King, J.C. 2007. Zinc. <http://lpi.oregonstate.edu/infocenter/minerals/zinc/zincrefts/html>.
- Knezek, B.D., and B.G. Rllis. 1980. *Essential Micronutrient IV: Copper, Iron, Manganese and Zinc*. In B.E. Davies (ed.). *Applied Trace Elements*. John Wiley & Sons. New York.
- Kodyat, B.A., A.R. Thaha, dan Minarto. 1998. *Penuntasan Masalah Gizi Kurang*. Widya Karya Pangan dan Gizi VI. LIPI.
- Kyuma, K. 2004. *Paddy Soil Science*. Kyoto University Press and Trans Pasific Press. Japan and Australia.
- Leesawatwong, M., S. Jamjod, J. Kuo, B. Dell, and B. Rerkasem. 2005. *Nitrogen fertilizer increases seed protein and milling quality of rice*. Cereal Chem. 82(5):588-593.
- Lindsay, W.L., and W.A. Norvell. 1969. *Equilibrium relationships of Zn^{2+} , Fe^{3+} , Ca^{+} , and H^{+} with EDTA and DTPA in soils*. Soil Sci.Soc.Amer.Proc. 33:62-68.
- Lindsay, W.L. 1974. *Role of chelation in micronutrient availability*. pp. 507-524. In E.W. Carson (ed.). *The Plant Root and its Environment*. University Press of Virginia, Charlottesville.
- Makarim, A.K., A. Hidayat, S.Roechan, I. Nasution, M.F. Muhadjir, S. Ningrum, M. Djazuli, dan Murtado. 1992. *Status P dan pendugaan keperluan pupuk P pada padi sawah*. hal. 199-209. Prosiding Lokakarya Penelitian Komoditas dan Studi Khusus III.
- Makarim, A.K., S. Abdurachman, dan S. Purba. 2000. *Efisiensi input produksi tanaman pangan melalui Prescription Farming*. hal. 90-103. Dalam A.K. Makarim et al. (penyunting). *Tonggak Kemajuan Teknologi Produksi Tanaman Pangan: Konsep dan Strategi Peningkatan Produksi Pangan*. Puslitbang Tanaman Pangan. Bogor.
- Makarim, A.K. 2006. *Pemupukan berimbang pada tanaman pangan*. hal. 80-87. Dalam A. Widjono et al. (penyunting). *Risalah Seminar 2005 Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan*. Puslitbang Tanaman Pangan. Bogor.
- Makarim, A.K., dan E. Suhartatik. 2006. *Budidaya padi dengan masukan insitu menuju perpadian masa depan*. Iptek Tanaman Pangan. 1(1):19-29.
- Marschner, H. 1993. *Zinc uptake from soil*. pp. 59-77. In A.D. Robson (ed.). *Zinc Soil in Plants*. Kluwer, Dordrecht. The Netherlands.
- Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2nd ed. Academic Press. London.
- Mas'ud, P. 1993. *Telaah Kesuburan Tanah*. Penerbit Angkasa. Bandung.
- Moraghan, J.T., J. Padila, J.D. Etchevers, K. Grafton, and J.A. Acosta-Gallegos. 2002. *Iron accumulation in seed of common bean*. Plant and Soil. 246:175-183.
- Mukanda, N., and A. Mapiki. 2001. *Vertisols Management in Zambia*. pp.129-137. In J.K. Syers et al. (eds.). *The Sustainable Management of Vertisols*. CABI Publishing. New York.
- Myers, R.J.K., C.A. Palm, E.Cueves, I.U.N. Gunatilleke, and M. Brossard. 1994. *The synchronisation of nutrient mineralisation and nutrient demand*. pp 81-119. In P.L. Woomer and M.J Swift (eds.) *The Biological Management of Tropical Soil Fertility*. John Wiley & Sons. New York.
- Nasution, E. 2004. *Efek suplementasi zinc dan besi pada pertumbuhan anak*. Library.usu.ac.id./17 Juli 2007.
- Neilands J.B., and S.A Leong. 1986. *Siderophores in relation to plant growth and disease*. Ann. Rev. Plant Physiol. 37:187-208.
- Nor, K.M., and F.B. Cady. 1979. *Methodology for identifying wide adaptability in crops*. Agron J. 71:556-559.

- Nyakpa, Yusuf, A.M. Lubis, M.A. Pulung, G. Amran, A. Munawar, dan G. B. Hong. 1988. *Kesuburan Tanah*. Universitas Lampung. Lampung.
- Olumu, R.A., G.J. Racz, and C.M. Cho. 1973. *Effect of flooding on eH, pH and concentrations of Fe and Mn on several Manitoba soils*. Soil Sci. Soc. Am Proc. 27:220-224.
- Pandey, N., G.C. Pathak, A.K. Singh, and C.P. Sharma. 2002. *Enzym change in response to zinc nutrition*. J. Plant physiol. 159:1151-1153.
- Pedas, P., C.A. Hebborn, J.K. Schjoerring, P.E. Holm, and S. Husted. 2005. *Differential capacity for high-affinity manganese uptake contributes to differences between barley genotypes in tolerance to low manganese availability*. Plant Physiol. 139 (3):1411-1420.
- Ponnamperuma, F.N. 1955. *Physiological diseases of rice attributed of iron toxicity*. Nature. 175-265.
- Ponnamperuma, F.N. 1978. *Electrochemical changes in submerges soils and the growth of rice*. pp. 421-441. In *Soil and Rice*. IRRI. Los Banos.
- Powell, P.E., P.J. Staniszlo, G.R. Cline, and C.P.P Reid. 1982. *Hydroxamate siderophores in the iron nutrition of plants*. J. Plant Nutr. 5:653-673.
- Prasetyo, B.H., S. Adiningsih, K. Subagyono, dan R.D.M. Simanungkalit. 2004. *Mineralogi, kimia, fisika, dan biologi tanah sawah*. hal. 29-82. Dalam Fahmuddin Agus et al. (penyunting). *Tanah Sawah dan Teknologi Pengelolaannya*. Puslitbang Tanah dan Agroklimat. Bogor.
- Prasetyo, B.H., dan D.A. Suriadikarta. 2006. *Karakteristik, potensi dan teknologi pengelolaan tanah Ultisol untuk pengembangan pertanian lahan kering Indonesia*. J.Litbang Pertanian. 25(2):39-47.
- Prasetyo, B.H. 2007. *Perbedaan sifat-sifat tanah Vertisol dari berbagai bahan induk*. J. Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia. 9 (1):20-31.
- Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. 1994. *Survei dan Pemetaan Sumberdaya Lahan untuk Pengembangan Pertanian, Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah dan Pengembangan Daerah Aliran Sungai Daerah Istimewa Yogyakarta*. Puslit Tanah dan Agroklimat. Bogor.
- Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. 2000. *Atlas Sumberdaya Tanah Eksplorasi Indonesia, Skala 1:1000.000*. Puslit Tanah dan Agroklimat. Bogor.
- Radjaguguk, B. 2006. *Sumberdaya tanah dan pengelolaannya secara berkelanjutan*. hal. 290-303. Dalam J. Sutanto et al. (penyunting). *Revitalisasi Pertanian dan Dialog Peradaban*. Penerbit Buku Kompas. Jakarta.
- Rengel, Z., G.D. Batten, and D.E. Crowley. 1999. *Agronomic approach for improving the micronutrient density in edible portion of field crops*. Field Crops Res. 60(1-2):27-40.
- Romheld, V., and H. Marschner. 1986. *Mobilization of iron in the rhizosphere of different plant species*. In B. Tinker and A. Lauchli (eds.). *Adv. Plant Nutr.* 2: 155-204. Praeger Scientific. New York.
- Romheld, V., and M. Nicolici. 2007. *Iron*. pp. 329-350. In A.V. Barker and D.J. Pilbeam (eds.) *Handbook of Plant Nutrition*. CRC Press. Boca Raton.
- Saleque, M.A., M.J. Abedin, N.I. Bhuiyan, S.K. Zaman, and G.M. Panaullah. 2004. *Long-term effects of inorganic fertilizer sources on yield and nutrient accumulation of lowland rice*. Field Crops Res. 86: 53-65.
- Salisbury, F.B. 1992. *Plant Physiology*. Wadworth Publishing Company Belmont, California.
- Sanchez, P.A. 1992. *Properties and Management of Soils in the Tropics (Sifat dan Pengelolaan Tanah Tropika*. Alih Bahasa: Dra. J.T. Jayadinata, M.Sc). Penerbit ITB. Bandung.
- Santoso, D., dan J.S. Adiningsih. 1987. *Residu pemupukan fosfat pada tanah sawah intensifikasi*. Prosiding Pertemuan Teknis Penelitian Tanah, Cipayung, 21-23 Pebruari 1984. Puslit Tanah. Bogor.

- Santoso, D., I.G.P. Wigena, dan J. Purnomo. 2001. *Neraca hara dan analisis ekonomi dari pemupukan P pada tanah kering masam di Sumatera*. J. Tanah dan Iklim. 19:33-42.
- Santoso, D., dan A. Sofyan. 2005. *Pengelolaan hara tanaman pada lahan kering*. hal. 73-99. Dalam A. Adimihardja dan Mappaona (penyunting). *Teknologi Pengelolaan Lahan Kering Menuju Pertanian Produktif dan Ramah Lingkungan*. Puslitbang Tanah dan Agroklimat. Bogor.
- Sauriasari, R. 2007. *Mengenal dan menangkal radikal bebas*. www.beritaipstek.com/arsiplalu.
- Savithri, P., R. Perumal, and R. Nagarajan. 1999. *Soil and crop management technologies for enhancing rice production under micronutrient constraint*. pp121-135. In V. Balasubramanian et al.(eds.). *Resource Management in Rice Systems: Nutrients*. Kluwer Academic Publisher. Boston. London.
- Schnitzer, M., and Kerndoff. 1981. *Reaction of fulvic acid and metal ion*. Water Air Soil Pollut. In Trace Element in Soil and Plants.
- Seckback, J. 1982. *Ferretting out the secrets of plant ferretin: A review*. J. Plant Nutr. 5:369-394.
- Sitompul, M., dan B. Guritno. 1995. *Analisis Pertumbuhan Tanaman*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Setyorini, D., L.R. Widowati, dan S. Rochayati. 2004. *Teknologi pengelolaan hara lahan sawah intensifikasi*. hal. 137-167. Dalam F. Agus et al. (penyunting). *Tanah Sawah dan Teknologi Pengelolaannya*. Puslitbang Tanah dan Agroklimat. Bogor.
- Sinclair, T.R. 1998. *Historical changes in harvest index and crop nitrogen accumulation*. Crop Sci. 38:638-643.
- Singh, R.K., and B.D. Chaudhary. 1979. *Biometrical methods in quantitative genetic analysis*. Kalyani Pub. Ludhiana, New Delhi. New York.
- Smith, J.L. R.I. Papendics, D.F. Bezdicek, and J.M. Lynch. 1993. *Soil organic matter dynamics and crop residue management*. In F.B Metting, Jr (Ed.). *Soil Microbial Ecology: Application in Agricultural and Environmental Management*. Marcel Dekker, Inc.
- Sofyan, A., Nurjaya, dan A. Kasno. 2004. *Status hara sawah untuk rekomendasi pemupukan*. hal. 83-114. Dalam F. Agus et al. (penyunting). *Tanah Sawah dan pengelolaannya*. Puslitbang Tanah dan Agroklimat.
- Sparks, D.L., and P.M. Huang. 1985. *Physical chemistry of soil potassium*. pp. 201-276. In *Potassium*. Agriculture ASA-CSSA. Madison USA.
- Stevenson, F.J. 1982. *Humus Chemistry*. John Wiley & Sons. New York.
- Stevenson, F.J., and A. Fitch. 1997. *Kimia pengompleksan ion logam dengan organik larutan tanah*. hal. 41-90. Dalam P.M Huang dan M. Schnitzer (penyunting). *Interaksi Mineral Tanah dengan Organik Alami dan Mikroba*, alih bahasa D.H. Goenadi dan Sudarsono. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Storey, J.B. 2007. *Zinc*. pP. 413-436. In A.V. Barker and D.J. Pilbeam (Eds.) *Handbook of Plant Nutrition*. CRC Press. Boca Raton.
- Subagyo, H., N. Suharta, dan A.B. Siswanto. 2004. *Tanah-tanah pertanian di Indonesia*. hal.21-65. Dalam A. Adimihardja et al. (penyunting). *Sumberdaya Lahan Indonesia dan Pengelolaannya*. Puslitbang Tanah dan Agroklimat. Bogor.
- Suganda, H., S. Dwiningasih, dan A. Kasno. 2006. *Daya sangga typic dystropeps dan typic hapluderts terhadap merkuri, kadmium, timbal, krom, tembaga, dan seng pada lahan sawah*. hal. 261-274. Dalam D. Subardja S et al. (eds.). *Prosiding Seminar Nasional Sumberdaya Lahan Pertanian*. Bogor, 14-15 September 2006. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor.
- Sumarno. 2006. *Sistem produksi padi berkelanjutan dengan penerapan Revolusi Hijau lestari*. Iptek Tanaman Pangan. 1(1):1-18. Puslitbang Tanaman Pangan. Bogor
- Sumarno, A. Hasanuddin, dan Suyamto. 2007. *Sistem produksi tanaman pangan padi*

- berciri ekologis dan berkelanjutan. Simposium Tanaman Pangan V, Bogor 28-29 Agustus 2007. Puslitbang Tanaman Pangan. Bogor.
- Supardi Ar., dan IPG Widjaya-Adhi. 1989. *Tanggap tanaman padi terhadap residu pupuk P-alam pada Vertisol, Ultisol dan Histosol*. Prosiding Pertemuan Teknis Penelitian Tanah, Bogor 18-20 Juni 1987. Puslit Tanah. Bogor.
- Suriadikarta, D.A., T. Prihatini, D. Setyorini, dan W. Hartatik. 2005. *Teknologi pengelolaan bahan organik tanah*. hal.169-222. Dalam A. Adimihardja dan Mappaona (penyunting). *Teknologi Pengelolaan Lahan Kering Menuju Pertanian Produktif dan Ramah Lingkungan*. Puslitbang Tanah dan Agroklimat. Bogor.
- Takatsuji, H. 1999. *Zinc finger proteins: The classic finger emerges in contemporary plant science*. Plant Molec. Biol. 39:1073-1078.
- Tan, K.H. 1993. *Environmental Soil Science*. Marcel Dekker. Inc. New York.
- Tan, K. H. 1998. *Dasar-dasar Kimia Tanah*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Taylor, H.M. 1981. *Root zone modification: fundamentals and alternatives*. pp. 3-16. In G.F. Arkin and H.M. Taylor (eds.). *Modifying of Root Environment to Reduce Crop Stress*. American Society of Agricultural Engineers. Michigan.
- Terry, N., and J. Abadia. 1986. *Function of iron in chloroplasts*. J. Plant Nutr. 9:609-646.
- Tisdale, S., and W. Nelson. 1975. *Soil Fertility and Fertilizers*. 4th ed. The MacMillan Pubs. Co. New York.
- Thompson, M.L., and F.R. Troeh. 1978. *Soil and Soil Fertility*. Mcgraw Hill Book Co. New York.
- Thorne, W. 1957. *Zinc deficiency and its control*. In A.G. Norman et al. (eds.). Adv. Agron. 9:31-61.
- Welch, R.M., and R.D. Graham. 2004. *Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective*. J. Exp.Bot. 55 (396):353-364.
- Welch, R.M. 2007. *Micronutrients, Agriculture and Nutrition: Linkage for Improve Health and Well Being*. <http://www.css.cornell.edu/foodsystems/micros & agriman>.
- Wesling-Resnick. 2007. *Iron*. <http://lpi.oregonstate.edu/infocenter/minerals/iron/html>.
- Winarsih, H. 2007. *Antioksidan Alami dan Radikal Bebas*. Kanisius. Yogyakarta.
- Winarso, S. 2005. *Kesuburan Tanah Dasar Kesehatan dan Kualitas Tanah*. Gava Media. Yogyakarta.
- Witt, C., A. Dobermann, S. Abdulrachman, H.C. Gines, W. Guanghuo, R. Nagarajan, S. Satawatananont, T.T. Son, P.S. Tan, L.V. Tiem, G.C. Simbahan, and D.C. Olk. 1999. *Internal nutrient efficiencies of irrigated lowland rice in tropical an subtropical Asia*. Field Crops Res. 63:113-138.
- Wulandari, C., R.A. Wulandari, dan K.D. Sasmita. 2007. *Pengaruh Pemupukan Seng (Zn) dan Pupuk Organik terhadap Pertumbuhan dan Hasil Padi (Oryza sativa L.) pada Sawah Berdrainase Buruk*. Laporan Hasil Penelitian FP UGM. Yogyakarta.
- Yoshida, S. 1982. *Fundamental of Rice Crop Science*. The International Rice Research Institute, Manila.