

KERACUNAN BESI PADA TANAMAN PADI DAN UPAYA PENGELOLAANNYA PADA LAHAN SAWAH

Syafruddin ¹⁾

¹⁾ Peneliti Pada Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Sulawesi Tengah
Jalan Lasoso No 62 Biroamru Kotak Pos 51 Palu 94364

Abstract

As a staple food of people in Indonesia, rice reserve must be met sufficiently. The effort to fulfill demand of rice has drawn attention to intensification, extensification as well as diversification programs. Extensification has only possible been carried out in acid soils, having relative low nutrient status, high Fe, Al and Mn saturations. Iron toxicity is one of primary limiting factors to obtain high yielding production in acid soils such as inceptisol and ultisol. Iron toxicity may highly reduce the yield harvested up to 90 %. To correct the low productivity level of acid soil for rice, it is important to apply appropriate technology considerable to soil and indigenous farmer requirements. Some procedures have been practically used to increase the productivity of acid soil and reduce the symptoms of iron toxicity i.e. improvement of rice varieties tolerant to high iron status, application of fertilization in proportional balance in order to overcome negative effects of iron toxicity, otherwise combinations of better control of watering system with providing aerob condition by turns, as wel as appropriate and sustainable use of organic matter.

Keywords: Iron toxicity, rice, management, and productivity.

PENDAHULUAN

Lahan sawah merupakan lahan yang dialihkan dan kembangkan oleh manusia untuk penanaman padi dengan sistem penggenangan. Karena perlakuan penggenangan tersebut, maka lahan sawah mempunyai sifat yang berbeda dengan lahan kering lainnya. Meskipun hingga saat ini, lahan sawah belum diklasifikasikan secara tersendiri. Karena adanya perubahan elektrokimia seperti perubahan sifat fisik, kimia dan biologi pada lahan sawah akibat penggenangan, maka lahan sawah seharusnya dijadikan suatu sistem agroekosisten lahan tersendiri.

Di samping perubahan tersebut, lahan sawah memegang peranan penting dalam kehidupan manusia di belahan bumi ini karena merupakan makanan utama sekitar 35 % penduduk dunia (Mehraban *et al*, 2008). Di Indonesia mencapai 90 % penduduk menggunakan beras sebagai bahan makanan pokok, sehingga fungsi dan peran lahan sawah tersebut menjadi sangat penting dalam kehidupan manusia. Lahan sawah perlu mendapat perhatian serius dan memerlukan pengelolaan yang baik agar dapat menjalankan fungsinya dengan baik dan tidak mengalami kerusakan. Di sisi lain terjadi penciptaan lahan sawah subur ke non pertanian, kondisi ini memaksa pemerintah

melakukan perluasan areal lahan sawah ke luar Jawa yang tanahnya kurang subur dan sering menimbulkan gejala keracunan besi sehingga produktivitas lahan rendah.

Simarmata dan Yuwariah (2008) mengembangkan sistem pengelolaan lahan sawah dan manajemen secara terpadu yang dikenal dengan intensifikasi padi aerob terkendali berbasis organik (IPAT-BO). Konsep ini memadukan antara pengelolaan dengan perencanaan yang menitikberatkan pada pemanfaatan kekuatan biologis tanah, manajemen tanaman, pemupukan dan tata air secara terpadu dan terencana (*by design*) untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan sistem perakaran padi dalam kondisi aerob. Konsep ini tidak hanya meningkatkan produksi dan produktivitas lahan, akan tetapi juga menjaga dan meningkatkan kualitas lahan dengan mengoptimalkan kekuatan biologis sebagai motor penggerak.

Besi merupakan salah satu unsur yang mengalami perubahan pada kondisi tergenang yaitu dapat mengalami reduksi dari Fe^{3+} menjadi Fe^{2+} . Dari aspek ketersediaan hara perubahan ini menguntungkan bagi tanaman, karena besi lebih tersedia dan dapat diserap oleh tanaman yaitu dalam bentuk ferrous (Fe^{2+}), namun apabila reduksi berlebih maka besi tersebut dapat larut melebihi dari kebutuhan tanaman, sehingga mengakibatkan keracunan tanaman. Sulaeman *dkk*, (1997) melaporkan bahwa tidak semua lahan sawah yang mengalami reduksi dapat menyebabkan keracunan bagi tanaman. Hal ini sangat tergantung pada beberapa sifat tanah seperti kadar bahan organik tanah, pH tanah, ada tidaknya senyawa reduktan (Fe, Nitrat dan Sulfat) dan cara pengelolaan (Sahrawat, 2005).

Dari kondisi tersebut maka, penulis akan mencoba membahas unsur besi dari aspek biokimia sebagai bahan pertimbangan dalam pengelolaan besi pada pertanian padi sawah agar unsur besi (Fe) dapat tersedia bagi tanaman dan tidak terjadi keracunan. Makalah ini akan mencoba membahas perubahan biokimia besi pada lahan sawah, besi sebagai unsur hara tanaman dan gejala keracunan besi pada tanaman serta cara pengelolannya.

BESI SEBAGAI UNSUR HARA TANAMAN

Besi (Fe) merupakan salah satu unsur hara esensial bagi semua tanaman. Besi (Fe) mempunyai peranan penting dalam proses biologi seperti : fotosintesis, pengembangan kloroplas, dan biosintesa protein. Besi juga merupakan penyusun berbagai jenis enzim seperti: sitokrom, enzim katalase, feroksidase dan leg haemoglobin serta besi-sulfur protein termasuk superoksida dismutase (Marschner, 1995). Besi juga dibutuhkan dalam klorofil, walaupun belum jelas mekanisme peranan besi dalam menentukan laju pembentukan klorofil. Di jumpai korelasi antara kandungan besi dalam

jaringan tanaman dengan kandungan klorofil tanaman. Dalam pengelolaannya besi dihadapkan pada dua masalah yaitu: kekurangan atau berlebih. Kedua kondisi ini sangat berpengaruh terhadap hasil yang akan dicapai. Bila kekurangan atau kelebihan pada tanaman maka pertumbuhannya akan terganggu. Gejala kekurangan besi yang telah teridentifikasi adalah: klorosis antar vena daun dan pada kondisi yang parah gejalanya pada seluruh permukaan daun. Sedangkan gejala keracunan pada umumnya memperlihatkan warna coklat kemerah-merahan atau kuning kecoklatan sering disebut **bronzing** (Ismunadji, 1990).

Kekurangan besi pada usahatani padi sawah jarang di temukan, karena pada sistem penggenangan pada lahan sawah dapat meningkatkan kelarutan besi feri (Fe^{3+}) menjadi besi feri (Fe^{2+}) yang lebih mudah diserap oleh tanaman. Kasno *dkk*, (1999) melaporkan bahwa penggenangan pada lahan sawah baik secara terus menerus maupun secara berselang (intermitten) meningkatkan ketersediaan besi, serapan hara dan produksi tanaman pada lahan sawah bukaan baru.

Kekurangan besi jarang dijumpai pada pertanaman padi sawah, justru yang sering ditemukan adalah gejala keracunan pada tanaman padi terutama jika ditanam pada lahan sawah yang masam seperti: inceptisol, ultisol, dan oksisol. Gejala kekurangan besi pada tanaman padi akan muncul jika kadarnya dalam jaringan tanaman lebih kecil dari 63 ppm dan kecukupan bila kadarnya dalam jaringan tanaman mencapai 80 ppm dan keracunan jika melebihi 300 ppm (Rajagukguk, 1999; Yusuf, *dkk*, 1990).

KERACUNAN BESI TANAMAN PADI DAN UPAYA PENGELOLAANYA

- Keracunan Besi Pada Tanaman Padi

Meskipun besi merupakan unsur hara esensial bagi semua jenis tanaman, akan tetapi sering terjadi masalah pada pertanaman padi dengan sistem penggenangan. Masalah keracunan besi sering terjadi pada tanah masam yang diusahakan sebagai lahan sawah. Pada tanah dengan tingkat kemasaman tinggi (pH rendah), pertumbuhan tanaman kurang baik, bahkan pada kondisi tertentu tanaman tidak dapat di panen. Sturz *et al.*, (2000) mengemukakan bahwa keracunan besi pada tanaman padi dapat menurunkan produksi hingga 90 %. Keracunan besi juga sering muncul pada lahan sawah bukaan baru, terutama yang terbuat dari tanah masam (Inceptisol, Ultisol dan Oksisol)

Di dunia terdapat sekitar 128 juta ha lahan sawah irigasi dan tadah hujan diperkirakan sekitar 100 juta ha mengalami masalah besi baik defisiensi maupun keracunan bagi tanaman padi (Becker and Asch, 2005). Di Indonesia, keracunan besi pada tanah sawah ditemukan di beberapa sentra padi seperti Jawa Barat, Jawa Timur,

Lampung, Sumatra Selatan, Bengkulu, Riau, Jambi, Sumatra Barat, Kalimantan Barat, Kalimantan Timur, Kalimantan Selatan, Sulawesi Tenggara dan Sulawesi Tengah dengan luasan sekitar 1.000.000 ha (Ismunadji, 1990; Andiantoro dan M. Slamet, 1991; Yusuf, 1993, Yuyun, 1993). Luasan ini belum termasuk lahan sawah yang dicetak pada periode 1991 hingga 2007 yang diperkirakan berasal dari tanah masam (Inceptisol, Ultisol dan Oksisol) yang juga berpotensi mengalami keracunan besi. Hingga saat ini produktivitas pada lahan sawah yang diduga terjadi keracunan besi, produksitivitasnya masih rendah. Sebagai contoh di Sulawesi Tengah produktivitas lahan sawah di daerah yang diduga keracunan besi (ultisol dan oksisol) produktivitasnya baru 2,5-2,9 t/ha di Kabupaten Morowali dan 3, 5 t/ha di Kabupaten Poso Sulawesi Tengah (BPS Propinsi Sulawesi Tengah, 2005).

- Upaya Pengelolaannya

Pengelolaan lahan sawah yang beresiko mengalami keracunan besi dapat dilakukan dengan beberapa cara. Untuk mengurangi efek negatif dari kelarutan besi yang tinggi pada tanah masam atau lahan sawah yang beresiko mengalami keracunan besi terutama pada lahan yang digengangi secara terus menerus, maka ada beberapa cara yang dapat dilakukan diantaranya: a. Penggunaan varietas toleran terhadap kadar besi tinggi, b. Pemupukan c. Pengaturan tingkat reduksi dengan sistem intermitten irigasi dan d. Penggunaan bahan organik.

a. Penggunaan Varietas Toleran

Penggunaan varietas toleran pada lahan dengan kondisi lahan yang beresiko keracunan besi telah banyak dilakukan. Sahrawat (2005) telah mengevaluasi 20 varietas tolerans terhadap keracunan besi dengan produksi yang dicapai berkisar 0,10 t/ha hingga 5,04 t/ha. Penelitian jangka panjang yang telah dilakukan oleh Sahrawat menunjukkan beberapa (lima) varietas yang dapat berproduksi dengan baik pada kondisi lahan dengan kadar besi tinggi ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Produksi Padi beberapa varietas padi sawah pada lahan keracunan besi

Tahun	Varietas Padi (t/ha)					
	CK 4	WITA1	WITA3	Bouake 189	Suakoko 8	LSD
1992	-	4,33	5,04	2,87	4,85	1,080
1993	5,87	5,53	5,17	4,08	5,07	0,630
1994	6,05	6,66	4,30	4,69	3,73	1,100
1996	3,76	3,24	3,21	2,81	2,57	0,760
1997	5,63	5,02	4,59	4,99	2,79	1,345
Rata-rata	5,33	4,96	4,46	3,88	3,80	-

Penggunaan Pupuk N 100 kg/ha, P 50 kg/ha dan Zn 10 kg/ha

Sumber: Sahrawat et al, 2005.

Penelitian pemupukan pada empat varietas padi pada lahan sawah bukaan baru di Sulawesi tengah juga telah dilaporkan oleh Syafruddin *dkk* (2002) menunjukkan hasil yang berbeda-beda antar varietas meskipun diberikan pupuk yang sama (Urea 200 kg/ha + SP 36 100 kg/ha dan KCl 100 kg/ha) dengan hasil tertinggi dicapai oleh varietas Cisanggarung seperti ditampilkan pada Tabel 5. Penggunaan varietas untuk mengatasi keracunan besi sangat baik, mudah dilaksanakan dan murah serta ekonomis sehingga dapat berkelanjutan (Sulya, 2008; Suriadikarta dan Wiwik, 2004

Tabel 3. Uji Daya Hasil Lanjutan varietas dan Galur padi yang toleran terhadap keracunan besi di Blendean Kalimantan Selatan

No	Galur/Varietas	Hasil Gabah (t/ha)		Rata-rata	Peningkatan * (%)
		MK 2004	MH 2005		
	B8239G-KN-13	4,28	3,21	3,70	29,9
	IR58511	4,51	2,98	3,70	30,0
	B10214F-KN-2-3-1-2	3,61	2,46	3,00	5,0
	B9851-D-Mr-15-1	4,38	3,09	3,70	29,5
	IR50584-1-1-Mr-1	4,11	3,03	3,60	23,9
	IR61242	4,45	3,84	4,10	43,9
	IR35664	5,09	3,70	4,40	52,4
	Banyu Asin *	3,46	2,31	2,90	-

*) *Kontrol (Varietas Banyu Asin)*

Sumber : Noor *dkk*, 2006

Tabel 5. Produksi Rata-Rata Beberapa Varietas Padi Di Dataran Lalundu Kabupaten Donggala Sulawesi Tengah

Varietas	Hasil Panen (t/ha)
Kapuas	5,1
Lematang	4,7
Lalan	3,5
Cisanggarung	6,5

Sumber : Syafruddin *dkk* 2002

Penampilan varietas Cisanggarung yang merupakan salah satu varietas padi sawah yang tergolong toleran terhadap keracunan besi ditampilkan pada Gambar 2 a, begitu pula dengan varietas mekongga menunjukkan pertumbuhan cukup baik pada kondisi kadar besi tinggi Gambar 2 b. Pada Gambar 2 a dan 2 b terlihat genangan air sawah yang mengandung besi tinggi dengan gejala warna air yang merah dan kental seperti jeli dan berminyak. Hasil penelitian menunjukkan beberapa varietas padi yang dapat beradaptasi dan memberi produksi cukup tinggi pada lahan keracunan besi seperti: varietas Kapuas, Batang Ombilin dan Cisanggarung serta varietas Mekongga (Ismunadji dan Ardjasa, 1989; Syafruddin *dkk*, 2008). Hal yang sama dilaporkan Andiantoro dan

Mamiék Slamet (1991) bahwa adaptasi varietas cukup baik untuk mengatasi masalah keracunan besi.



Gambar 2. Kenampakan pertumbuhan tanaman padi yang tergolong toleran terhadap keracunan besi. (A=Var.Cisanggatung dan B=Var.Mekongga) Foto Syafruddin, 2008

b. Pemupukan

Keracunan besi pada lahan sawah tidak hanya disebabkan oleh pH yang rendah (tanah masam), dan kelarutan besi yang tinggi, akan tetapi juga disebabkan oleh kekurangan kalium (K), fosfor (P), kalsium (Ca), magnesium (Mg) dan mangan (Mn) serta kadar bahan organik tanah (Ismunadji, 1990; Merhaban *et al.* 2008). Penelitian pemupukan pada lahan sawah yang diduga mengalami keracunan besi telah banyak dilakukan. Yuyun (1993) melaporkan bahwa pemupukan kalium (K) dan mangan (Mn) pada lahan sawah dapat mengurangi tingkat keracunan besi dan dapat meningkatkan hasil panen 30,35 % (Tabel 4).

Tabel 4. Pengaruh Pemupukan K dan Zn Terhadap Hasil Panen dan Persentase Peningkatan Hasil pada Inceptisol dan Vertisol

Perlakuan	Dosis K ₂ O (kg/ha)	Tanah Inceptisol		Tanah Vertisol	
		Hasil Panen t/ha	Persentase Peningkatan (%)	Hasil Panen t/ha	Persentase Peningkatan (%)
	0	4,57 a	0	5,62 a	0
	30	5,19 b	13,57	6,44 bc	14,5
	60	5,63 c	23,19	6,49 bc	15,4
	90	5,78 cd	26,48	6,88 c	22,2
	120	5,80 cd	26,91	6,58 bc	16,9
	150	5,98 d	30,35	6,39 b	15,1
Dosis Zn (kg/ha)					
	0	5,38 a	0	6,33 a	0
	1,15	5,39 a	0,19	6,38 a	0,66
	2,30	5,63 b	4,67	6,38 a	0,66
	3,45	5,61 b	4,65	6,49 a	2,51

Sumber: Yuyun, 1993

Li *et al*, (2001) melaporkan bahwa suplemen kalium (K) pada medium perakaran dapat meningkatkan potensi oksidasi akar dan menurunkan serapan besi (Fe) sehingga dapat mengurangi pengaruh negatif besi terhadap perakaran. Mehraban *et al*, (2008) juga melaporkan bahwa pertumbuhan tanaman dipengaruhi oleh penggunaan kalium pada level kadar besi tinggi dalam kultur pasir

a. Kombinasi Penggunaan Bahan Organik dan Pengaturan Tingkat Reduksi

Pada kondisi reduktif unsur besi dapat menjadi sangat larut dalam tanah sehingga dapat meracuni tanaman. Penambahan bahan organik pada kondisi reduktif akan mengalami proses dekomposisi secara anaerob tidak sempurna sehingga menghasilkan asam-asam organik, gas metan dan alkohol dan pada kondisi berlebih dapat menghambat pertumbuhan tanaman. Untuk mengurangi tingkat kelarutan unsur besi dan peningkatan produksi asam-asam organik, alkohol dan gas metan dalam tanah sehingga tidak berdampak negatif pada pertumbuhan tanaman yaitu pengaturan tingkat reduksi tanah melalui sistem pengairan secara terputus-putus/intermittent irrigation dan penggunaan bahan organik. Pemberian bahan organik sebaiknya diberikan pada kondisi aerob agar proses dekomposisi berlangsung dengan baik. Hasil penelitian Yang *et al* (2006) melaporkan bahwa penggunaan bahan organik yang dikombinasikan dengan pengairan secara aerob (Intermittently flooded) dapat meningkatkan aktivitas fosfatase, ketersediaan P dan serapan hara P serta hasil panen tanaman padi seperti terlihat pada Tabel 6. Selain itu, pengaturan sistem penggenangan dapat mengurangi tingkat kelarutan besi. Penggunaan bahan organik dan penerapan sistem pengairan secara terkontrol/pengaturan kondisi lahan sawah tetap dalam keadaan aerob secara nyata meningkatkan perngembangan akar tanaman, hasil panen dan mengoptimalkan kekuatan biologis dalam tanah (Simarmata, 2009). Kombinasi penggunaan bahan organik dengan sistem pengairan secara aerob tidak hanya memperbaiki proses dekomposisi bahan organik akan tetapi menciptakan kondisi optimal bagi aktivitas mikrobia tanah dan mendorong terciptanya kekuatan biologis dalam tanah (*soil biology power*) serta dapat lebih efektif dan mudah untuk dikembangkan asalkan dikembangkan secara in-situ.

Penggenangan dan pengeringan pada tanah sawah menyebabkan terjadinya reduksi atau oksidasi besi. Pada saat tergenang besi feri (Fe^{3+}) mengalami reduksi menjadi besi fero (Fe^{2+}) begitu pula sebaliknya jika mengalami pengeringan atau oksidasi maka besi fero (Fe^{2+}) dengan sangat cepat berubah menjadi besi feri (Fe^{3+}) yang tidak tersedia bagi tanaman seperti terlihat pada Gambar 3. Perubahan dari besi feri (Fe

$^{3+}$) menjadi besi fero (Fe^{2+}) akibat penggenangan dan perubahan besi dari fero (Fe^{2+}) menjadi feri (Fe^{3+}) akibat pengoksidasian dapat mengurangi kelarutan besi secara berlebih sehingga tidak menyebabkan meracuni tanaman.

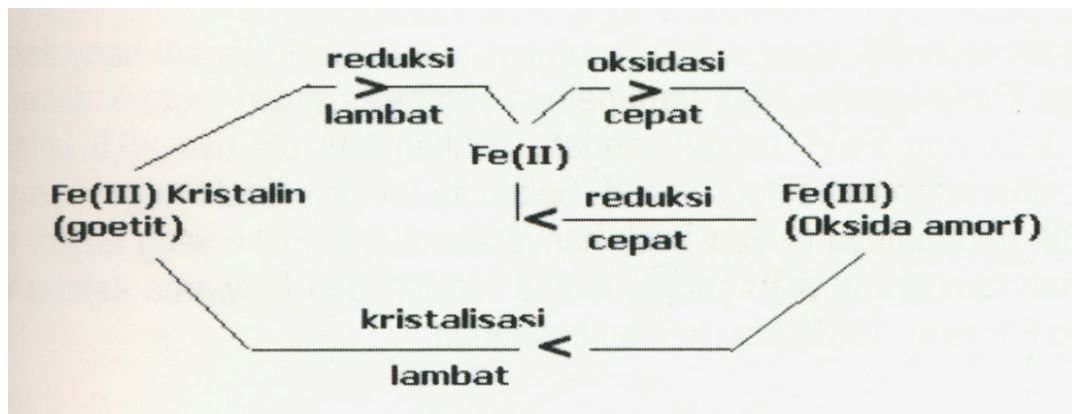
Tabel 6. Pengaruh pupuk organik terhadap hasil tanaman dan serapan hara pada penggenangan secara terus menerus dan secara terputus-putus di Propinsi Changshu, Cina.

Kelegangan Tanah	Perlakuan	Hasil Panen (t/ha)		Serapan Hara (kg/ha)	
		Jerami	Gabah	Jerami	Gabah
Penggenangan secara terputus-putus	SM	6,25b	7,99 b	5.43 b	26,1a
	SM + WS	5,84 c	7,62 c	5.14 bc	24,7b
	WS	6,68 a	8,48 a	6.12 a	27,9a
	CK	5,54 d	6,68 d	4.12 d	21,9d
Penggenangan secara terus-menerus	SM	5,96 bc	7,04 c	4.62 c	23,2c
	SM + WS	5,72 c	7,28 d	4.63 c	22,9cd
	WS	6,45 b	7,94 b	5.48 b	24,8b
	CK	5,61cd	6,72 f	4.19 d	22,2d

Sumber : Yang et al, 2006.

Ket: SM = pupuk kandang dari kotoran babi, WS = jerami gandum dengan takaran 15 t/ha

CK = pupuk kimia masing-masing N=150 kg/ha, P 45 kg/ha dan K 60 kg/ha



Gambar 3. Mekanisme perubahan besi oksida kristali akibat reduksi dan oksidasi
Sumber: Hardjowigwno dan Rayes 2001

KESIMPULAN

Pemerintah dalam pemenuhan kebutuhan pangan bagi masyarakatnya, telah melakukan perluasan areal sawah yang diarahkan pada tanah yang tergolong masam dan kurang subur. Besi merupakan unsur hara esensial yang mempunyai sifat dapat mengalami reaksi oksidasi-reduksi, sehingga ketersediaannya sangat tergantung pada kondisi reduksi dan oksidasi disamping pH dan kadar bahan organik tanah. Pada kondisi sangat tereduksi kelarutan besi meningkat dan dapat meracuni tanaman jika berlebih. Upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan produksi tanaman padi adalah dengan

cara memperbaiki kesuburan dan mengatasi tingkat kecacunan besi pada lahan yang mempunyai potensi keracunan. Teknologi pengelolaan keracunan besi yang efisien adalah kombinasi antara penggunaan varietas dengan pengaturan sistem pengairan secara terkontrol (penciptaan kondisi aerob) dan penggunaan bahan organik secara in-situ

DAFTAR PUSTAKA

- Andiantoro, S dan M. Slamet, 1991. Keragaan empat varietas padi di lahan sawah bermasalah keracunan besi yang dipupuk fosfor dan kalium. *Agrikam* (6):85-88
- Becker, M., and F. Asch, 2005. Iron Toxicity in rice-condition and management concepts. *J. Plant Nurt. Soil Sci*, (168):4:1227-1338
- BPS, 2005. Sulawesi Tengah Dalam Angka.
- Hadjowigeno. S dan M.L Rayes, 2001. Tanah Sawah. Program Pasca Sarjana. Institut Pertanian Bogor. 155 hal
- Hartatik, W., L. R. Widowaty dan Sulaeman, 1997. Pengaruh Potensial Redoks Terhadap Ketersediaan Hara Pada Tanaman Padi Sawah. *Pros. Petermuan Pembahasan dan Komunikasi Hasil Penelitian Tanah dan Litbang Pertanian*: 19-34.
- Ismundji, M, 1990. Alleviating iron toxicity in lowland rice. *J. IARD* (12):4:67-72
- Ismundji, M, dan W.S Ardjasa, 1989. Potash Fertilization for lowland rice can frevent iron toxicity losses. *Better Crop Interntional*. December 1989.
- Li. H., X. Yang and A. Luo, 2001. Ameliorating effect of Potassium on Iron Toxicity in Hybrid Rice. *J. Plant Nutr.* (24):12: 1849-1860
- Mahraban, P., A. A. Zadeh and H.R. Sadeghipour, 2008. Iron Toxicity in Rice (*Oriza sativa* L.) Under Different Pottasium Nutrition. *Asean Journal of Plant Science*: 1-9. Diakses di internet pada tanggal 17 Desember 2008.
- Marschner, H., 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Prees
- Noor, A., M. Sabran dan Rina D Ningsih, 2006. Keragaan Galur-Galur Padi Toleran Keracunan Besi di Lahan Sulfat Masam Kalimantan Selatan. <http://balittanah.litbang.deptan.go.id> diakses, 27 April, 2008
- Kasno, A., Sulaeman dan Mulyadi, 1999. Pengaruh Pemupukan dan Pengairan terhdap Eh, pH, Ketersediaan P dan Fe serta Hasil Padi pada Tanah Sawah Bukaak Baru. *J. Tanah dan Iklim*:17: 72-81
- Rajagukguk, B., 1999. Kesuburan Tanah Lanjut. Program Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada. Bahan Kuliah
- Sahrawat, K. L., 2005. Fertility and Organic Matter in Submerget Rice Soil. *Curren Science* (88):5: 753-739. Diakses tanggal 17 Desember 2008
- Sahrawat, K. L., 2004. Iron toxicity in wetland Rice Soil and the role of other nutrients. *J. Plant Nutr.* 27: 1471-1504. Diakses tanggal 17 Desember 2008

- Simarnata, T dan Y. Yuwariah, 2008. Terobosan Teknologi Untuk Meningkatkan Produksi Padi Dengan Sistem Intensifikasi Padi Aerob Terkendali Berbasis Organik (IPAT-BO). Makalah disampaikan pada Pelatihan IPAT-BO Dinas Pertanian dan Kehutanan Kabupaten Bogor 27-28 Maret 2008. 19 hal
- Simarnata, T. 2009. Modul Budidaya padi (IPAT-BO). Sistem Intensifikasi Padi Aerob Terkendali Berbasis Organik. Makalah disampaikan pada Pelatihan IPAT-BO Petani Asal Kalimantan dan Nusatenggara Timur, 8 Januari, 2009.
- Sudiakarta, D. A dan Wiwik. H, 2004. Teknologi Pengelolaan Lahan Sawah Bukaan Baru. Tanah Sawah dan Teknologi Pengelolaannya. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Departemen Pertanian. Hal. 115-136
- Sulaeman, Eviati dan J.S. Adiningsig, 1997. Pengaruh Eh dan pH terhadap sifat erapan fosfat, kelarutan besi dan hara lain pada tanah hapludox Lampung. Pros. Pertemuan Pembahasan dan Komunikasi Hasil Penelitian Tanah dan Agroklimat. Bidang Kimia dan Biologi Tanah. Puslitbangtanak: 1-16
- Sulya. D, 2008. Problematik Kesuburan Tanah dan Pupuk (Unsur-Unsur Mikro). Bahan Kuliah Program Pasca Sarjana Universitas Padjadjaran. Bandung 2008.
- Sutami, 2004. Potensi Galur-Galur Padi Pasang Surut Terpilih Pada Kondisi Lahan Pasang Surut Sulfat Masam. *J. Agrosains* : 6 (2): 53-57.
- Schwertmann, U., H.Kodama and W.R. Fischer, 1986. Interaksi Menguntungkan Antara Organik dan Oksida Besi. Interaksi Mineral Tanah dengan Organik Alami dan Mikrobia. Edisi Terjemahan D.H. Goenadi, 1997:333-376
- Syafruddin, Maskar dan Mamiek Slamet, 2002. Pemupukan Empat varietas Padi Pada Dua Tipologi Lahan Di Sulawesi Tengah. Prosiding Seminar Nasional Pekan Padi Nasional di Sukamandi. Puslitbangtan. Badan Litbang Pertanian. Buku II
- Syafruddin, J. Langsa dan Saidah, 2008. Hasil Kegiatan Program Prima Tani di Kabupaten Tolitoli. Lokakarya Laporan Kemajuan Kegiatan Prima Tani Wilayah Sulawesi dan Maluku di Kendari, April 2008
- Sturz, S., F. Asch and Mathias Becker, 2000. Field Validation of Quick Screening Methode for iron Toxicity in Lowland Rice. <http://www.Pitros.bonn.de>.
- Patrick, Jr and C.N. Reddy, 1978. Chemical change in Rice Soil. Paper Pserented at the Symposium, Soil and Rice at the IRRI. Los Banos Laguna.
- Ponnamperuma, F. N. 1972. The Chemistry of Submerged Soils. *Adv. Agron* (24): 29-96
- Yang. C., Yang,L, and L. Jiansua, 2006. Organic Phosphorus Fractions in Organically Amended Paddy Soil in Continuously and Intermittently Flooded Condisions . *J. Environ Qual* (35): 11421150

- Yusuf, A., D Syamsuddin, Gunawan S dan Surya, 1990. Pengaruh pH dan eH terhadap kelarutan Fe, Al dan Mn pada lahan sawah bukaan baru jenis oksisol situng. Pros. Pengelolaan Sawah Bukaan Baru Menunjang Swasembada Pangan dan Transmigrasi. Kerja Sama Fakultas Pertanian Universitas Ekasakti dengan Balai Penelitian Tanaman Pangan Sukarami: 237-263
- Yuyun, S., 1993. Pemupukan K dan Zn sebagai upaya penanggulangan keracunan besi pada padi sawah di lahan vertisos Cianjur dan Inceptisols Purwakarta. Disertasi. Program Pasca Sarjana Universitas Padjdjaran. Bandung. 172 hal