

# PENGELOLAAN LAHAN DAN TANAMAN PADA LAHAN PASANG SURUT BERMASALAH KERACUNAN FE (BESI)

Aidi Noor dan Rina Dirgahayu Ningsih  
Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Kalimantan Selatan  
Jl. Panglima Batur Barat No. 4 – Banjarbaru, Kalimantan Selatan  
Tlp: (0511)4772346, Fax : (0511)4781810  
Email: aidi@yahoo.com

## RINGKASAN

Lahan pasang surut di Indonesia yang berpotensi sebagai sumber produksi padi diperkirakan sekitar 9,53 juta ha. Keracunan Fe (besi) merupakan faktor pembatas dalam produksi padi di lahan pasang surut terutama pada tipologi lahan sulfat masam. Hasil-hasil penelitian menunjukkan keracunan besi disebabkan oleh tingginya kadar besi dan kemasaman tanah yang dipengaruhi juga oleh kondisi tanah yang kahat hara seperti P, K, Ca, Mg, lahan yang selalu tergenang karena drainase buruk, dan penggunaan varietas padi yang tidak toleran terhadap Fe. Keracunan Fe (besi) pada tanaman disebabkan tingginya kadar besi di dalam jaringan tanaman padi. Beberapa varietas padi mempunyai kemampuan untuk beradaptasi dengan tingginya kadar Fe di dalam tanah dan/atau larutan tanah maupun di dalam jaringan tanaman, yaitu dengan cara mekanisme penghindaran (*avoidance*) maupun dengan cara mentolerir tingginya kadar Fe di dalam jaringan tanaman. Untuk mengendalikan keracunan Fe dan meningkatkan produktivitas padi di lahan pasang surut dapat dilakukan dengan mengombinasikan antara varietas toleran/agak toleran dengan perbaikan lingkungan tumbuh seperti perbaikan tata air, pemberian amelioran dan pemupukan berimbang. Penggunaan varietas toleran merupakan cara yang lebih murah dalam mengendalikan keracunan besi. Namun demikian, varietas toleran umumnya mempunyai potensi hasil yang rendah. Perbaikan lingkungan tumbuh tanaman sebaiknya disesuaikan dengan kemampuan varietas padi dalam beradaptasi dengan keracunan besi, sehingga input yang digunakan dalam perbaikan lahan dapat dikurangi.

## I. PENDAHULUAN

Padi merupakan komoditas strategis dan merupakan bahan pangan yang diperlukan oleh banyak penduduk dunia, termasuk di Indonesia. Namun demikian, pemenuhan akan pangan ini melalui peningkatan produksi mendapatkan beberapa tantangan dan pembatas. Sebagian padi di Indonesia diproduksi di lahan sawah yang mempunyai beberapa pembatas, salah satunya lahan sawah yang berpotensi keracunan Fe (besi). Dilaporkan terjadi secara luas keracunan Fe pada sawah di beberapa negara Asia seperti Cina, India, Indonesia, Thailand, Malaysia, dan Philipina (Ash *et al.* 2005). Tanaman padi yang terkena gejala keracunan Fe yang berat mengakibatkan pertumbuhan tanaman sangat jelek, anakan tidak tumbuh optimal sehingga hasil yang didapatkan sangat rendah dan bahkan dapat mengakibatkan kegagalan panen (Audebert dan Sahrawat 2000).

Budi daya padi selain di lahan sawah irigasi, tadah hujan, juga dilakukan di lahan rawa lebak dan pasang surut. Lahan rawa di Indonesia dengan luas mencapai 34,12 juta ha, yang terdiri dari lahan pasang surut 8,92 juta ha dan lahan lebak 25,21 juta ha merupakan merupakan salah satu alternatif dalam mengatasi semakin menyusutnya lahan-lahan subur di Pulau Jawa akibat konversi lahan. Dari luasan lahan pasang surut di Indonesia 8,92 juta ha, sekitar 2,80 juta ha potensial untuk padi sawah (BBSDLP *et al.* 2015). Berdasarkan tipologinya lahan pasang surut sulfat masam (6.7 juta ha) merupakan lahan yang cukup luas di Indonesia (Widjaya Adhi 1986; Alihamsyah 2004). Lahan pasang surut sulfat masam merupakan lahan yang mempunyai kendala lebih berat, karena mempunyai lapisan pirit yang apabila teroksidasi mengakibatkan pH tanah yang sangat masam, kandungan unsur meracun Al, Fe dan H<sub>2</sub>S yang tinggi serta kandungan dan ketersediaan hara yang rendah (Sarwani *et al.* 1994).

Lahan pasang surut di Kalimantan Selatan seluas sekitar 188.908 ha mempunyai potensi untuk pengembangan padi (BPS Kal-Sel 2016), dengan luas lahan yang ditanami padi seluas 100.348 ha. Lahan pertanaman padi di Kabupaten Barito Kuala merupakan lahan pasang surut yang terluas di Kalimantan Selatan dengan produktivitas baru mencapai 3,33 t/ha, (BPS-Kalsel 2017). Masih rendahnya produktivitas dan indeks pertanaman padi di Kabupaten Barito Kuala ini karena adanya kendala kemasaman tanah yang tinggi, Fe yang tinggi dan meracun, dan tata air yang masih belum memadai. Dengan kondisi lahan yang demikian petani di lahan rawa

lebih suka menanam padi varietas lokal yang lebih adaptif tetapi berumur panjang sehingga hanya sekali setahun (IP 100). Penggunaan varietas unggul yang berumur lebih pendek yang toleran Fe membuka peluang untuk peningkatan produktivitas dan intensitas tanam. Namun demikian, perlu teknologi pengelolaan lahan dan tanaman yang tepat dalam mengatasi pembatas lahan terutama kemasaman dan kadar Fe yang tinggi.

Hasil-hasil penelitian menunjukkan lahan rawa pasang surut bermasalah keracunan Fe (besi) dapat diubah menjadi lahan pertanian yang produktif. Namun demikian, karena lahannya rapuh terutama dengan adanya masalah fisiko-kimia tanahnya, maka pengembangannya untuk pertanian pada suatu kawasan luas perlu dilakukan secara cermat dan hati-hati dengan memilih teknologi yang sesuai dengan karakteristik wilayahnya. Pengelolaan lahan rawa pasang surut hendaknya dilakukan spesifik tergantung permasalahan yang ada di lapang. Pemecahan masalah juga tidak bisa dilakukan secara parsial, tetapi terintegrasi menggunakan varietas padi toleran Fe dan perbaikan lingkungan tumbuh tanaman seperti pengelolaan air, pemberian bahan amelioran, dan pemupukan berimbang.

## II. KARAKTERISTIK LAHAN BERMASALAH KERACUNAN BESI

Keracunan Fe di lahan sawah termasuk di lahan pasang surut dapat disebabkan oleh kadar Fe dan kemasaman tanah yang tinggi, kadar hara tanah yang rendah, lahan yang selalu tergenang (Sahrawat 2004). Penggunaan genotipe padi yang peka seperti varietas IR 64 juga menyebabkan keracunan besi dan pada kasus tertentu bahkan dapat mengakibatkan kegagalan panen (Suhartini 2004; Suhartini dan Makarim 2009). Masalah kondisi biofisik lahan yang menyebabkan rendahnya produksi padi di lahan pasang surut terutama karena rendahnya kesuburan tanah, yang dicirikan oleh kahat hara, kemasaman yang tinggi, keracunan Al, Fe, dan H<sub>2</sub>S (Sarwani *et al.* 1994). Keracunan besi merupakan stres fisiologi pada tanaman padi yang umum dijumpai pada tanah Ultisol, Oxisol dan lahan pasang surut sulfat masam dengan keasaman dan kadar Fe aktif yang tinggi (Sahrawat 2004).

Keracunan besi pada tanaman padi dipengaruhi oleh lingkungan (ekologi) tumbuh tanaman padi dan juga kepekaan varietas tanaman padi terhadap kandungan Fe tinggi. Menurut laporan Harahap, *et al.* (1989), keracunan besi merupakan kendala utama pada pertanaman padi sawah di Indonesia terutama di lahan pasang surut, sawah bukaan baru, sawah berdrainase jelek dan daerah depresi yang tersebar di Jawa, Sumatera,

Kalimantan, dan Sulawesi. Selain konsentrasi Fe lingkungan tumbuh tanaman yang tinggi, keracunan Fe juga berhubungan dengan berbagai faktor seperti stres berbagai hara (K, P, Ca, dan /atau Mg) yang cenderung mengurangi kemampuan oksidasi akar, kondisi lingkungan seperti drainase buruk dan tanah selalu tergenang, maupun varietas yang peka keracunan Fe seperti IR64 (Makarim dan Supriadi 1989; Makarim *et al.* 1989).

Gejala keracunan besi pada padi hanya terjadi pada kondisi spesifik yaitu dalam kondisi tergenang. Kondisi reduksi di lahan sawah tergenang memperlihatkan gejala keracunan besi melalui pelarutan semua bentuk Fe menjadi bentuk terlarut ( $Fe^{+2}$ ) yang melibatkan mikroba pelarut (Beckers dan Ash 2005; Audebert 2006b). Jumlah besi ferro yang tinggi di dalam larutan tanah juga dapat mengakibatkan terjadinya ketidakseimbangan hara mineral yang memengaruhi pertumbuhan tanaman. Besi ferro yang diserap tanaman dan terkonsentrasi pada daun mengakibatkan *discoloration* pada daun, mengurangi jumlah anakan dan secara nyata mengurangi hasil (Audebert 2006b). Penurunan hasil padi karena keracunan besi juga disebabkan karena terganggunya proses metabolisme di dalam tanaman yang berakibat terjadinya perubahan karakter agronomi maupun fisiologi dalam tanaman padi.

Sahrawat dan Diatta (1995), mengemukakan beberapa faktor di dalam tanah yang dapat mengakibatkan keracunan besi pada padi adalah 1) *mineralogy* (kaolinit) dan kandungan liat tanah, 2) jumlah Fe yang dapat dipertukarkan di dalam tanah, 3) pH tanah, 4) adanya faktor stres hara. Lahan-lahan yang paling potensial keracunan besi dari segi kondisi psiko-kimianya adalah seperti tanah sulfat masam (Tinh 1999), tanah liat masam, tanah rawa (Deturk 1994), lahan sawah yang menerima aliran *run-off* dari lahan di atasnya. Konsentrasi besi ferro dalam larutan di lahan sawah yang dapat mengakibatkan keracunan besi mempunyai kisaran antara 10-2000 ppm.

Dobermann dan Fairhurst (2000) mengemukakan mengenai prinsip terjadinya keracunan Fe pada tanaman: 1) Konsentrasi  $Fe^{+2}$  yang tinggi dalam larutan tanah yang disebabkan oleh kondisi reduksi yang kuat dalam tanah dan atau pH yang rendah, 2) status hara yang rendah dan tidak seimbang di dalam tanah, 3) kurangnya oksidasi akar dan rendahnya daya eksklusi  $Fe^{+2}$  oleh akar yang disebabkan karena defisiensi hara P, Ca, Mg atau K, 4) kurangnya daya oksidasi akar (eksklusi  $Fe^{+2}$ ) akibat terjadinya akumulasi bahan-bahan yang menghambat respirasi ( $H_2S$ , FeS, asam organik), 5) aplikasi bahan organik dalam jumlah besar yang belum

terdekomposisi, 6) Suplai Fe secara terus-menerus dari air bawah tanah atau rembesan secara lateral dari tempat yang lebih tinggi.

Keracunan besi pada padi di Indonesia banyak dijumpai terutama pada lahan pasang surut yang mempunyai beberapa kendala seperti kahat hara, kemasaman yang tinggi, kadar Al, Fe, dan H<sub>2</sub>S yang tinggi (Sarwani *et al.* 1994). Masalah fisiko-kimia lahan pasang surut untuk pengembangan tanaman pangan meliputi genangan air dan kondisi fisik lahan, kemasaman tanah dan asam organik pada lahan gambut tinggi, mengandung zat beracun dan intrusi air garam, kesuburan alami tanah rendah dan keragaman kondisi lahan tinggi (Adimihardja *et al.* 1998 dan Sarwani *et al.* 1994).

**Tabel 4.** Karakteristik tanah di lahan rawa pasang surut, Belandean dan Puntik Dalam, Kabupaten Barito Kuala

Sifat Tanah	Belandean <sup>1)</sup>		Puntik Dalam <sup>2)</sup>	
	Nilai	Kriteria	Nilai	Kriteria
pH	4,00	SM	3,77	SM
C. Organik (%)	8,47	T	4,06	T
N total (%)	0,45	S	0,13	R
P Bray I (ppm P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	8,11	S	10,75	S
P total (mg/100g P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	31,20	S	13,17	SR
K total (mg/100 g K <sub>2</sub> O)	13,27	R	8,25	SR
Basa-basa tukar (me/100g)				
Ca	0,33	SR	0,80	SR
Mg	1,23	R	0,32	R
K	0,20	R	0,25	S
Na	0,27	R	0,14	R
KTK (me/100 g)	37,57	T	-	-
Al-dd (me/100 g)	8,87	T	5,76	T
Fe (ppm)	407,61	-	699,0	-
Tekstur (%):				
Liat	48,5		56,77	
Debu	43,1	Liat berdebu	33,67	Liat berdebu
Pasir	8,4		9,56	

Keterangan:

SM=Sangat Masam, T = Tinggi, S=Sedang, R=Rendah, SR=Sangat Rendah

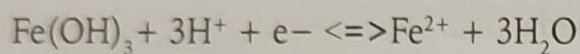
Sumber :<sup>1)</sup> Noor *et al* (2006), <sup>2)</sup> Noor, *et al* (2007)

Lahan sulfat masam merupakan lahan yang mempunyai kendala lebih berat dibandingkan tipologi lahan pasang surut lainnya, karena mempunyai pH tanah yang masam (pH 4,5-5,5) sampai sangat masam (pH < 4,5), kandungan unsur meracun Al dan Fe yang tinggi serta kandungan dan ketersediaan hara yang rendah. Pada kondisi tergenang besi ferro ( $Fe^{2+}$ ) biasanya berlebihan pada lahan sulfat masam yang dapat menyebabkan keracunan besi pada padi. Hasil analisis tanah lahan pasang surut di Belandean dan Puntik Dalam, Kabupaten Barito Kuala, Kalimantan Selatan menunjukkan pada kedua tanah tersebut pH sangat masam dengan kandungan hara terutama basa-basa tukar yang rendah, dan unsur meracun Al dan Fe yang tinggi (Tabel 4).

Keracunan Fe (besi) pada padi disebabkan tingginya kadar Fe tanah atau dalam larutan tanah. Hasil-hasil penelitian menunjukkan kadar Fe dalam larutan yang menyebabkan keracunan Fe pada tanaman sangat beragam. Batas kritis konsentrasi Fe dalam larutan tanah yang menyebabkan keracunan besi adalah sekitar 100 ppm pada pH 3.7 dan 300 ppm atau lebih tinggi pada pH 5.0 (Sahrawat *et al.* 1996). Menurut Ash, *et al.* (2005), kadar Fe dalam larutan yang menyebabkan keracunan bervariasi sangat luas berkisar antara 10-500 ppm Fe. Hasil penelitian Majerus *et al.* (2007) dan Mehraban *et al.* (2008) menunjukkan kadar Fe dalam larutan hara 250-500 ppm dengan pH 4.5-6.0 meningkatkan secara nyata kadar Fe dalam jaringan tanaman padi dan menunjukkan gejala keracunan Fe pada tanaman padi yang peka. Hasil penelitian Dorlodot *et al.* (2005) pada konsentrasi Fe dalam larutan hara > 250 ppm menunjukkan gejala keracunan besi dan menurunnya pertumbuhan tanaman.

Hasil penelitian Noor *et al.* (2012) menunjukkan konsentrasi Fe dalam larutan  $\geq 200$  ppm menunjukkan gejala keracunan Fe pada padi varietas IR. 64 dan Margasari. Pada konsentrasi Fe dalam larutan  $\geq 325$  ppm Fe padi varietas IR 64 menyebabkan gejala keracunan besi yang berat (skoring  $\geq 9$ ) yang menyebabkan terhambatnya pertumbuhan tanaman padi, bobot kering tanaman menurun sampai 85.5%. Musim pertanaman (musim hujan dan kemarau) juga memengaruhi intensitas gejala keracunan besi pada tanaman padi. Hasil penelitian Noor *et al.* (2015) di lahan pasang surut Barito Kuala, Kalimantan Selatan menunjukkan gejala keracunan besi pada musim kemarau lebih rendah dibandingkan pada musim hujan. Padi varietas IR 64 pada musim hujan menunjukkan gejala keracunan besi dengan skoring 4.3-7.0, sedangkan pada musim kemarau menjadi lebih rendah skoring

gejala keracunan besi 2.3-5.7. Lebih tingginya intensitas gejala keracunan besi pada musim hujan disebabkan karena lahan yang selalu tergenang menyebabkan tingginya kadar besi ferro yang menyebabkan tanaman padi keracunan Fe. Bentuk Fe yang meracun pada tanaman padi apabila dalam bentuk Ferro ( $\text{Fe}^{+2}$ ), sedangkan dalam bentuk Ferri ( $\text{Fe}^{+3}$ ) tidak bersifat meracun bagi tanaman padi sehingga tidak terjadi gejala keracunan Fe. Pada musim kemarau kondisi lahan lebih sering dalam kondisi kering sehingga terjadi perubahan bentuk besi ferro menjadi besi ferri yang tidak dapat diserap tanaman. Reaksi oksidasi-reduksi Fe dalam tanah digambarkan oleh Dent (1986) sebagai berikut.



### III. ADAPTASI TANAMAN PADI TERHADAP KERACUNAN BESI

Gejala keracunan besi beragam di antara genotipe padi, dan umumnya adanya bercak coklat keunguan dari daun yang diikuti dengan pengeringan. Gejala visual yang khas berhubungan dengan proses keracunan besi, terutama terjadinya akumulasi dari *polyphenol-teroksidasi* yang disebut *bronzing* atau *yellowing* pada padi. Karena mobilitas Fe yang rendah dalam tanaman, gejala yang khas dimulai dengan bercak berwarna coklat kemerahan dari daun tua. Bercak berwarna tembaga kemudian meluas ke seluruh daun, perkembangan gejala selanjutnya ujung daun menjadi kuning-jingga kemudian kering dari bagian atas (Peng dan Yamauchi 1993). Gejala ini dapat terjadi pada tahap pertumbuhan yang berbeda dan dapat memengaruhi padi pada tahap tanaman muda, selama seluruh tahap pertumbuhan vegetatif, dan tahap reproduktif. Dalam kasus keracunan pada tahap pembibitan, perkembangan tanaman padi terhenti, dan pembentukan anakan secara ekstrem terhambat. Keracunan pada tahap vegetatif menyebabkan menurunnya tinggi dan berat kering tanaman, berkurangnya anakan, berkurangnya klorofil tanaman (Fageria *et al.* 2008).

Keracunan besi terjadi karena penyerapan unsur  $\text{Fe}^{+2}$  yang melebihi 300 ppm (Yamauchi dan Peng 1995) yang berakibat terganggunya beberapa proses metabolisme dalam tanaman sehingga terjadi kerusakan tanaman (Bode *et al.* 1995). Terganggunya metabolisme tanaman karena keracunan besi menyebabkan pembentukan anakan dan jumlah anakan produktif secara drastis menurun. Bila keracunan besi terjadi pada tahap

akhir vegetatif, atau pada awal tahap reproduktif, jumlah malai turun, gabah hampa meningkat dan pada tahap pembungaan dan pematangan menjadi tertunda. Tanaman yang keracunan besi akarnya menjadi sedikit, kasar, pendek dan tumpul, berwarna coklat gelap. Gejala keracunan besi pada padi di lahan pasang surut bervariasi selain perbedaan varietas padi, perbedaan gejala keracunan besi juga berhubungan dengan perbedaan lokasi atau karakteristik tanah dan musim yang berbeda (Sahrawat 2004; Fageria *et al.* 2008).

Keracunan besi menyebabkan terjadinya baik perubahan agronomis maupun fisiologi pada tanaman padi. Hasil penelitian di lahan pasang surut sulfat masam Belandean menunjukkan genotipe padi mempunyai respons yang berbeda-beda terhadap keracunan besi yang ditunjukkan berbedanya hasil dan skoring keracunan besi. Hasil padi berkisar antara 2,24-5,09 t/ha dan skoring keracunan besi berkisar antara 1,3-6,3 (Noor *et al.* 2007). Nilai skoring besi menunjukkan seberapa berat tanaman keracunan, semakin tinggi nilai skoring semakin berat tanaman keracunan besi dan semakin rendah nilai skoring semakin ringan keracunan. Pada nilai skoring  $\geq 5$  menunjukkan tanaman peka terhadap keracunan besi sedangkan pada nilai  $\leq 3$  menunjukkan tanaman toleran terhadap keracunan besi. Padi yang toleran terhadap keracunan menunjukkan hasil gabah yang lebih tinggi dibandingkan padi yang kurang toleran atau tidak toleran (Tabel 5).

**Tabel 5.** Hasil padi dan gejala keracunan besi pada tanaman padi di lahan rawa pasang surut, Belandean, Kalimantan Selatan, MK. 2004

No.	Galur/Varietas	Hasil (t/ha)	Skoring Fe
1	IR35664	5.09	2.3
2	IR58511	4.51	3.0
3	IR61242	4.45	3.0
4	B8239G-KN-13	4.28	3.3
5	B10214F-KN-2-3-1-2	3.61	3.7
6	BP1126D-92-2-2-2	2.24	6.3
7	Margasari	3.34	1.3
8	IR.64	3,24	5,0

Skor keracunan besi (IRRI, 1996) : 1 = tidak ada gejala, 2 = ringan, 3 = sedang, 5 = agak berat, 7 = berat, 9 = sangat berat

Sumber: Noor, *et al.* (2007)

Keracunan besi pada padi menyebabkan terjadinya perubahan baik karakter morfologi maupun fisiologi tanaman, di mana respons setiap genotipe berbeda-beda tergantung sifat toleransi atau kepekaannya terhadap keracunan besi. Penampilan tanaman keracunan besi berhubungan dengan tingginya serapan  $Fe^{+2}$  oleh akar dan ditransportasikan ke daun melalui aliran transpirasi. Kelebihan kadar Fe dalam jaringan tanaman padi menyebabkan terjadinya perubahan beberapa karakter fisiologi seperti kadar protein larut (Dorlodot *et al.* 2005), gula larut (Mehraban *et al.* 2008), klorofil (Mehraban *et al.* 2008), ethylene (Yamauchi and Feng 1993; 1995), proline (Majerus *et al.* 2007), dan laju fotosintesis (Audebert 2006b).

Mekanisme keracunan besi dimulai dari meningkatnya permeabilitas sel-sel akar terhadap ion  $Fe^{2+}$  seiring dengan meningkatnya aktivitas mikroba pereduksi Fe di daerah perakaran tanaman, sehingga penyerapan ion ferro meningkat pesat. Reduksi  $Fe^{3+}$  yang terjadi di daerah perakaran secara terus-menerus menyebabkan rusaknya oksidasi Fe sehingga *influks*  $Fe^{2+}$  tidak terkendali masuk dalam perakaran padi (Makarim dan Supriadi 1989; Makarim *et al.* 1989).

Hasil penelitian Mehraban, *et al.* (2008) menunjukkan kandungan besi dalam akar dan tajuk (*shoot*) tanaman meningkat secara nyata dengan peningkatan perlakuan konsentrasi besi. Di bawah perlakuan Fe tinggi, penambahan hara K tidak menurunkan kandungan Fe dalam tanaman. Pada kedua organ peningkatan konsentrasi Fe menurunkan kandungan K. Hasil penelitian Majerus *et al.* (2007) menunjukkan konsentrasi Fe dalam akar, batang dan daun secara nyata meningkat bila konsentrasi Fe ditingkatkan sampai 500 ppm  $Fe^{+2}$ . Stress Fe juga menurunkan konsentrasi Ca, Mg dan P, perubahan penyebab stress selalu lebih terlihat pada genotipe toleran daripada genotipe peka (Majerus *et al.* 2007). Hasil penelitian menunjukkan semakin tinggi konsentrasi besi dalam larutan semakin rendah kandungan hara K, Ca, Mg, dan P dalam organ batang maupun daun terutama untuk genotipe yang peka. Pada genotipe yang toleran, konsentrasi Fe dalam larutan hara tidak terlalu memengaruhi kandungan hara K baik dalam daun maupun batang dan kandungan Ca dalam daun.

Beberapa hasil penelitian menunjukkan pemberian kalium dapat mengurangi keracunan besi. Kalium adalah hara makro yang umum dalam tanaman yang mengaktivasi beberapa enzim yang meliputi fotosintesis dan respirasi. Kalium memegang peranan penting seperti sintesis pati

dan protein, pembesaran sel, pergerakan stomata dan mengurangi stress kalium juga terlibat dalam keseimbangan anion-kation, pengaturan muatan listrik (Marschner 1995). Hasil penelitian Sahrawat (2004), menunjukkan pemberian K dapat meningkatkan eksklusi besi dari akar dan menurunkan translokasi besi ke bagian atas (tajuk) tanaman terutama ke bagian daun lebih atas. Li *et al.* (2001) melaporkan bahwa penambahan K dalam medium akar dapat meningkatkan potensial oksidasi akar dan menghasilkan penyerapan K yang lebih tinggi dan penyerapan Fe yang lebih rendah.

Audebert (2006a) mempelajari mengenai karakteristik morfo-fenologi dan serapan Fe tanaman dari beberapa varietas menunjukkan adanya perbedaan distribusi Fe dalam organ tanaman padi (akar, batang, dan daun) (Tabel 6).

**Tabel 6.** Konsentrasi Fe (ppm) dalam organ tanaman padi yang berbeda pada beberapa varietas padi

Varietas	Organ Tanaman Padi		
	Akar	Daun	Batang
Bouaké 189 (sedang)	70.200	2.000	1.800
CK4 (toleran)	61.300	1.420	2.300
Tox 3069 (peka)	85.300	3.430	3.140

Sumber: Audebert (2006a)

Hal ini menunjukkan adanya mekanisme penghindaran (*avoidance*) secara fisiologi yang spesifik di antara masing-masing varietas. Pada genotipe toleran (CK4), lebih banyak menimbun Fe di batang dan lebih sedikit di daun dibandingkan genotipe yang peka. Genotipe yang sangat peka (Tox 3069) tidak mempunyai mekanisme penghambat (*barrier*) Fe di antara organ yang berbeda dan kandungan Fe lebih tinggi dalam semua organ. Hal ini menunjukkan genotipe peka tidak mempunyai selektivitas Fe di antara organ tanaman.

Kemampuan padi untuk mengatasi Fe eksternal tinggi mungkin adalah hasil dari keduanya strategi penghindaran (*avoidance*) dan atau toleransi jaringan. *Avoidance* pada padi mungkin berhubungan dengan kemampuan oksidasi  $Fe^{+2}$  menjadi  $Fe^{+3}$  pada permukaan akar, sehingga membentuk endapan orange yang khas yang dikenal sebagai "iron plaque" (Asch *et al.* 2005). Hasil penelitian yang ada menunjukkan lebih efisiennya genotipe

tolerant (TOG) daripada genotipe peka karena menahan lebih banyak Fe di dalam akar. Konsentrasi besi yang rendah dalam tajuk pada genotipe toleran juga diperkirakan adalah mekanisme *avoidance* yang mungkin bermanfaat dalam memberikan kontribusi pertahanan tanaman seperti yang telah dikemukakan oleh Audebert dan Sahrawat (2000).

Hasil penelitian menunjukkan semakin tinggi keracunan besi (yang dapat dilihat dari semakin tingginya skoring Fe) pada tanaman padi semakin rendah hasil padi. Rendahnya hasil padi disebabkan karena adanya perubahan fisiologis dari tanaman padi yang disebabkan tinggi kadar Fe dalam tanaman. Hasil penelitian Audebert (2006a) menunjukkan kandungan Fe yang tinggi dalam daun berpengaruh negatif terhadap laju fotosintesis, penurunan gejala keracunan besi berkorelasi dengan laju fotosintesis dan meningkatkan hasil padi. Terdapat korelasi antara skoring keracunan Fe dengan hasil padi, semakin tinggi skoring keracunan besi semakin menurun hasil padi (Audebert 2006a). Korelasi antara hasil padi dengan distribusi Fe di antara organ tanaman dapat digunakan sebagai kriteria pemuliaan padi dalam menyeleksi dan memperbaiki genotipe padi. Pertumbuhan padi dipengaruhi secara nyata oleh konsentrasi Fe terutama di bawah 250 ppm Fe yang menurunkan secara drastis, sedangkan pada konsentrasi di atas 250 ppm Fe penurunan pertumbuhan relatif konstan (Mehraban 2008).

#### **IV. TEKNOLOGI PENGENDALIAN KERACUNAN BESI PADA PADI**

Strategi pengendalian besi dan peningkatan produktivitas padi pada lingkungan yang bermasalah dengan keracunan Fe (stress Fe) tergantung penyebab utama terjadinya keracunan pada tanaman. Menurut Ismunadji *et al* (1989) untuk mengatasi keracunan besi dan meningkatkan produksi padi pada lahan keracunan Fe, dapat dilakukan dengan teknologi tata air seperti perbaikan drainase, pemupukan berimbang, penambahan bahan organik dan pengapuran.

Selain teknologi budi daya dan pengelolaan tanah dan air, penggunaan varietas yang toleran atau cukup toleran lebih efisien dalam mengendalikan keracunan besi. Penggunaan varietas padi hendaknya disesuaikan dengan kemampuan padi untuk beradaptasi pada lingkungan yang spesifik. Penggunaan varietas toleran merupakan cara yang paling murah dan mudah diaplikasikan oleh petani, hanya saja untuk mendapatkan varietas yang

toleran dengan hasil tinggi sangat sulit dan memerlukan waktu yang lama. Perbaikan lingkungan tumbuh agar tanaman dapat tumbuh optimal dan memberikan hasil tinggi apabila menggunakan varietas yang tidak toleran memerlukan input yang tinggi sehingga biaya produksi juga menjadi tinggi.

Pengelolaan lahan rawa yang tepat akan meningkatkan produktivitas lahan, meningkatkan produksi tanaman dan pada akhirnya akan meningkatkan pendapatan petani. Penggunaan varietas toleran terhadap Fe secara nyata memberikan hasil yang lebih tinggi dibandingkan varietas peka Fe di lahan pasang surut. Hasil gabah kering dari varietas yang diuji di lahan pasang surut sulfat masam di Puntik Dalam menunjukkan varietas toleran Fe seperti Indragiri memberikan hasil tertinggi (4,56 t/ha), kemudian diikuti oleh varietas Tenggulang (4,11 t/ha), Ciherang (3,75 t/ha), Lambur (3,65 t/ha), Banyu Asin (3,61 t/ha) dan terendah Bondoyudo 3,23 t/ha. Gejala keracunan besi yang diamati pada saat akhir vegetatif menunjukkan varietas Indragiri, Tenggulang, Lambur dan Banyu Asin tergolong toleran dengan skoring berkisar antara 1-3, sedangkan Ciherang dan Bondoyudo tergolong agak toleran dengan skoring berkisar antara 3-5 (Tabel 7).

**Tabel 7.** Hasil gabah kering giling varietas yang diuji di lahan rawa pasang surut, Desa Puntik Dalam, Kalimantan Selatan, MK.2006

Varietas	Hasil gabah	Skoring Fe
Indragiri	4,56	2,0
Tenggulang	4,11	2,3
Ciherang	3,75	4,0
Lambur	3,65	2,3
Bondoyudo	3,23	4,0

Sumber: Noor *et al* (2006)

Pemberian bahan amelioran seperti kapur dan bahan organik jerami padi dapat mengurangi keracunan besi pada tanaman dan meningkatkan produktivitas padi. Padi yang peka memerlukan lebih banyak kapur dibandingkan padi yang toleran untuk mendapatkan hasil yang sama. Rata-rata varietas Kapuas (toleran) memberikan hasil gabah yang lebih tinggi dibandingkan varietas yang peka IR.64 (Tabel 8).

**Tabel 8.** Pengaruh pemberian bahan amelioran terhadap hasil gabah dan skoring keracunan Fe di lahan sulfat masam bukaan baru, Unit Tatas, Kalimantan Tengah

Perlakuan	Hasil gabah (t/ha)		Skoring Fe	
	IR64	Kapuas	IR64	Kapuas
Kontrol	1,61	2,05	6	4
Kapur 0,5 t/ha	2,23	3,46	2	2
Kapur 1,0 t/ha	3,40	3,68	2	1
Jerami 5,0 t/ha	2,04	3,24	6	2
Jerami 5,0 t/ha + Kp 0,5 t/ha	2,78	4,19	2	1

Sumber: Noor dan Jumberi (1998)

Penggunaan bahan amelioran di lahan pasang surut Barito Kuala selain dapat meningkatkan produktivitas padi juga dapat menghemat penggunaan pupuk kimia pada varietas Inpara-1, pemberian kompos jerami memberikan hasil gabah 5,02 t/ha dan kompos kotoran sapi memberikan hasil gabah 4,94 t/ha lebih tinggi dibandingkan tanpa pupuk organik 4.40 t/ha (Ningsih *et al.* 2017). Penggunaan bahan amelioran berupa bahan organik dalam ameliorasi lahan pasang surut dapat menurunkan gejala keracunan besi pada tanaman. Hal ini disebabkan kemampuan bahan organik dalam mengikat logam Fe dalam bentuk yang tidak dapat diserap oleh tanaman. Menurut Jumberi dan Alihamsyah (2004) pemberian kompos jerami dapat mengurangi kadar besi dan sulfat serta meningkatkan hasil padi di lahan pasang surut. Bahan organik selain sebagai sumber hara juga meningkatkan daya pegang tanah terhadap pupuk yang diberikan, sehingga meningkatkan efisiensi pemupukan (Karama 1990).

Hasil penelitian Ningsih *et al.* (2014) di lahan pasang surut di Desa Danda Jaya, Kabupaten Barito Kuala, penggunaan padi varietas unggul yang toleran Fe Inpara-1 sampai dengan Inpara-4 memberikan hasil gabah cukup tinggi, yaitu 4,13-5,55 t/ha, sementara varietas yang tidak toleran seperti Ciherang memberikan hasil gabah lebih rendah 1,59 t/ha dan Inpara-5 2,95 t/ha. Hasil penelitian ini juga menunjukkan semakin tinggi skoring keracunan besi semakin rendah hasil gabah (Tabel 9).

**Tabel 9.** Hasil gabah dan skoring gejala keracunan besi beberapa varietas unggul di lahan pasang surut, Barito Kuala, Kalimantan Selatan

Varietas	Skoring Fe	Hasil gabah (t/ha)
Ciherang	4,82	1,59
Inpara-1	2,32	4,23
Inpara-2	2,40	4,13
Inpara-3	1,00	5,55
Inpara-4	1,00	5,35
Inpara-5	3,92	2,95

Sumber: Ningsih, *et al.* (2014)

Hasil penelitian Lubis dan Noor (2012), menunjukkan semakin tinggi konsentrasi Fe dalam larutan semakin tinggi skoring gejala keracunan besi dan semakin terhambat pertumbuhan tanaman yang ditunjukkan dengan semakin rendahnya berat kering tanaman. Inpara-1 sampai dengan Inpara-4 mempunyai toleransi yang lebih tinggi dibandingkan varietas lainnya terhadap kadar besi yang tinggi dalam larutan (Tabel 10).

**Tabel 10.** Pengaruh dua level konsentrasi besi dalam larutan (143 dan 325 ppm Fe) terhadap skoring Fe dan berat kering tajuk tanaman padi

No.	Varietas	Skoring Fe		Berat Kering Tanaman (g)	
		143 ppm Fe	325 ppm Fe	143 ppm Fe	325 ppm Fe
1	IR 64	5.0	7.7	2.00	1.43
2	Ciherang	4.3	6.3	2.13	1.27
3	Inpari-1	3.0	7.0	1.9	1.19
4	Inpari-6	3.7	8.3	2.27	1.67
5	Margasari	3.0	5.7	2.53	1.40
6	Indragiri	3.0	6.3	1.93	1.27
7	Dendang	3.0	6.3	2.17	1.63
8	Inpara-1	3.0	5.0	2.27	1.97
9	Inpara-2	3.0	5.0	2.93	1.95
10	Inpara-3	3.0	7.0	2.47	1.87
11	Inpara-4	3.0	5.0	2.60	1.90
12	Inpara-5	4.3	7.0	2.07	1.23

Sumber: Lubis dan Noor (2012)

Hasil penelitian Audebert (2000) menunjukkan terdapat korelasi antara tingkat keracunan besi dengan hasil padi, demikian pula dengan semakin tinggi kadar Fe dalam jaringan tanaman padi semakin terhambat pertumbuhan tanaman padi (Mehbaran *et al.* 2008).

Hasil-hasil penelitian menunjukkan pengelolaan lahan yang tepat, penggunaan bahan amelioran dan pupuk yang sesuai dan penggunaan varietas unggul yang toleran atau agak toleran terhadap keracunan besi akan dapat meningkatkan produktivitas padi di lahan pasang surut bermasalah keracunan besi. Faktor utama keberhasilan dalam pengendalian keracunan Fe di lahan pasang surut adalah pengelolaan air (tata air), selain penggunaan varietas yang toleran, amelioran dan pemupukan berimbang. Pembuatan saluran drainase di lahan pertanaman diperlukan untuk membuang kelebihan air, sehingga tanah dalam keadaan macak-macak atau jenuh air. Drainase lahan membuat kondisi lahan dalam kondisi oksidatif sehingga mengurangi kadar  $Fe^{+2}$  dalam larutan tanah. Pembuangan air yang tergenang di lahan juga akan mengeluarkan Fe larut dari lahan pertanaman padi sehingga mengurangi jumlah Fe yang ada dalam tanah. Pengeluaran air dari lahan pertanaman hanya bisa dilakukan bila sistem tata air berupa saluran tata air mikro, saluran kwartier, tersier dan pintu-pintu air dalam kondisi baik dan berfungsi. Pembuatan saluran drainase dangkal di lahan pertanaman dan pemeliharaan saluran tata air mikro, saluran kwartier, dan saluran tersier sangat diperlukan di lahan pasang surut dalam mengendalikan keracunan besi terutama pada musim hujan.

Untuk mengendalikan keracunan besi dan meningkatkan produktivitas padi dapat dilakukan dengan mengombinasikan antara varietas toleran/agak toleran dengan perbaikan lingkungan tumbuh. Pada lingkungan dengan cekaman Fe yang ringan dapat menggunakan varietas dengan potensi hasil tinggi yang agak toleran terhadap keracunan Fe. Pada lingkungan dengan cekaman Fe sedang dapat menggunakan varietas toleran atau agak toleran yang mempunyai potensi hasil tinggi dengan mengombinasikan dengan perbaikan lingkungan tumbuh dengan input rendah. Pada lingkungan dengan cekaman Fe berat sebaiknya menggunakan varietas toleran Fe yang dikombinasikan dengan perbaikan lingkungan tumbuh.

## V. PENUTUP

Keracunan besi disebabkan oleh tingginya kadar besi dan keasaman tanah yang dipengaruhi juga kondisi tanah yang kahat hara seperti P, K, Ca, Mg, lahan yang selalu tergenang karena drainase jelek dan penggunaan varietas padi yang tidak toleran terhadap Fe. Keracunan besi pada tanaman disebabkan tingginya kadar besi di dalam jaringan tanaman padi  $\geq 300$  ppm Fe.

Beberapa varietas padi mempunyai kemampuan untuk beradaptasi dengan tingginya kadar besi di dalam tanah atau larutan tanah maupun di dalam jaringan tanaman, yaitu dengan cara mekanisme penghindaran (*avoidance*) maupun dengan cara toleransi (*mentolerir*) tingginya kadar besi di dalam jaringan tanaman.

Untuk mengendalikan keracunan besi dan meningkatkan produktivitas padi di lahan pasang surut dapat dilakukan dengan mengombinasikan antara varietas toleran/agak toleran dengan perbaikan lingkungan tumbuh seperti perbaikan tata air, pemberian amelioran dan pemupukan berimbang. Penggunaan varietas toleran merupakan cara yang lebih murah dalam mengendalikan keracunan besi. Namun demikian, varietas toleran umumnya mempunyai potensi hasil yang tidak tinggi. Perbaikan lingkungan tumbuh tanaman sebaiknya disesuaikan dengan kemampuan varietas padi dalam beradaptasi dengan keracunan besi, sehingga input yang digunakan dalam perbaikan lahan dapat dikurangi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adimihardja A, Sudarman K, Suriadikarta DA. 1998. Pengembangan Lahan Pasang Surut: Keberhasilan dan kegagalan ditinjau dari fisiko kimia lahan pasang surut. *Dalam*. Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian Menunjang Akselerasi Pengembangan Lahan Pasang Surut. Balittra, Banjarbaru.
- Alihamsyah T. 2004. Potensi dan Pendayagunaan Lahan Rawa untuk Peningkatan produksi Padi dan Beras Indonesia. *Dalam*. F. Kasrino, E. Pasandaran, dan A.M. Pagi (Penyunting). Badan Litbang Pertanian.
- Asch, F., M. Becker, D.S. Kpongor, 2005. A quick and efficient screen for tolerance to iron toxicity in lowland rice, *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168: 764–773.

- Audebert A., and K. L. Sahrawat. 2000. Mechanisms for iron toxicity tolerance in lowland rice. *J. Plant Nutr.* 23:1877-1885.
- Audebert. A. 2006a. Iron partitioning as a mechanism for iron toxicity tolerance in lowland rice. In: Audebert. A., L.T. Narteh. D. Millar and B. Beks. 2006. *Iron Toxicity in Rice-Based System in West Africa*. Africa Rice Center (WARDA).
- Audebert. A. 2006b. Toxicity in rice-environmental condition and symptoms In : Audebert. A., L.T. Narteh. D. Millar and B. Beks. 2006. *Iron Toxicity in Rice-Based System in West Africa*. Africa Rice Center (WARDA).
- BBSDLP. 2015. *Sumber Daya Lahan Pertanian Indonesia: Luas, Penyebaran, dan Potensi Ketersediaan*. Balai Besar Sumber Daya Lahan Pertanian. Indonesian Agency for Agricultural Research and Development (IAARD) Press.
- Becker, M. and F. Asch. 2005. Iron toxicity in rice-condition and management concept. *J. Plant Nutr. Soil Sci*, 168 (4): 558-573.
- Bode, K., O. Doring, S. Lüthje, H.U. Neue, and M. Bottger. 1995. The role of active oxygen in iron tolerance of rice (*Oryza sativa*). *Protoplasma* 184, 249-255.
- BPS Kal-Sel. 2016. *Survey Pertanian: Luas Lahan Menurut Penggunaannya di Provinsi Kalimantan Selatan tahun 2013*. Badan Pusat Statistik. Povinsi Kalimantan Selatan.
- BPS Kal-sel. 2017. *Provinsi Kalimantan Selatan Dalam Angka 2017*. Badan Pusat Statistik. Povinsi Kalimantan Selatan.
- Dent D. 1986. *Acid Sulphate Soils: A baseline for research and development*. International Land Reclamation Institutes Publ. 39. Wageningen, TheNetherlands.
- Deturck P. 1994. *Iron toxicity to rainfed lowland rice in Sri Lanka*. KULFLTB, Leuven, Belgium. 162 p.
- Dobermann A, Fairhurst T. 2000. Iron toxicity. In: *Rice: Nutrient Disorders and Nutrient Management* (eds). International Rice Research Institute, Manila. 121-125.
- Dorlodot, S., S. Lutts, and P. Bertin. 2005. Effect of ferrous iron toxicity on the growth and mineral competition of and interspecific rice. *J. Plant Nutr.* , 28 (1): 1-20.

- Fageria NK. 1988. Influence of iron on nutrient uptake by rice. *Int. Rice Res. Newsl.* 13(1): 20-21.
- Fairhurst TH and C Witt. 2002. *Rice: A practical guide to nutrient management*. Manila, The Philippines: International Rice Research Institute.
- Harahap, Z., M. Ismunadji, J. Sujitno, A.M. Fagi dan D.S. Damardjati. 1989. Perkembangan dan Sumbangan Penelitian untuk Pelestarian Swasembada Beras. *Dalam: M. Syam (Eds). Buku I. Risalah Simposium II Penelitian Tanaman Pangan*. Ciloto, 21-23 Maret 1988. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Bogor. p: 135-185.
- Ismunadji, M., W.S. Ardjasa and H.R. von Uexkull. 1989. increasing productivity of lowland rice grown on iron toxic soil. Paper presented at International Symposium on Rice production on Acid Soils of tropics, June 26-30, 1989. Kandy, Sri Lanka.
- Jumberi A, Alihamsyah T. 2004. Pengembangan lahan rawa berbasis inovasi teknologi. *Dalam. Prosiding Seminar Nasional: Inovasi Teknologi Pengelolaan Sumberdaya Lahan Rawa dan Pengendalian Pencemaran Lingkungan*. Banjarbaru, 6-7 Oktober 2004. Badan Litbang Pertanian.
- Karama AS. 1990. Penggunaan pupuk organik dalam produksi pertanian. Makalah disampaikan pada Seminar Puslitbangtan tanggal 4 Agustus 1990. Bogor.
- Majerus, V., P. Bertin, S. Lutts . 2007. Effects of iron toxicity on osmotic potential, osmolytes and polyamines concentrations in the African rice (*Oryza glaberrima* Steud.). *Plant Science*. 173: 96-105.
- Makarim , A.K., M. Ismunadji, and von Uexkull. 1989. An overview of major nutritional constrain to rice production on acid soils of Indonesia. *In. P. Deturck and F.N. Ponnampereuma (eds). Rice production on acid soils of the tropics*. Kandy, Sri Lanka. p. 199-203.
- Makarim, K., O. Sudarman, dan H. Supriadi. 1989. Status hara tanaman padi berkeracunan Fe di daerah Batumarta, Sumatera Selatan. *Penelitian Pertanian* 9(4):166-170.
- Mehraban, P., A. Abdol Zadeh and H. Reza Sadeghipour. 2008. Iron toxicity in rice (*Oryza sativa* L.) under different potassium nutritiom. *Asian J. of Plant Sci.* 1-9.

- Ningsih, RD., Aidi Noor, M. Yasin. 2014. Pengaruh keracunan besi di lahan pasang surut terhadap pertumbuhan dan hasil padi varietas Inpara. Prosiding Seminar Nasional 2013: Inovasi Teknologi Padi Adaptif Perubahan Iklim Global Mendukung Surplus 10 Juta Ton Beras Tahun 2014. Badan Litbang Pertanian.
- Ningsih, RD., K. Napisah dan Aidi Noor. 2017. Menghemat pupuk kimia hingga 50% dengan menggunakan pupuk organik pada lahan pasang surut. Prosiding Seminar Nasional 2016. Balai Besar Penelitian Padi. Badan Litbang Pertanian.
- Noor, A. dan A. Jumberi. 1998. Peranan bahan amelioran, pupuk kalium dan varietas dalam mengatasi keracunan besi pada tanaman padi di lahan pasang surut. *Dalam: Prosiding Lokakarya Strategi Pembangunan Pertanian Wilayah Kalimantan, 2-3 Desember 1997 di Banjarbaru.* Badan Litbang Pertanian. Instalasi Penelitian dan Pengkajian Teknologi Pertanian Banjarbaru. p: 275-279.
- Noor, A. I. Khairullah, R. D. Ningsih, dan Sumanto. 2006. Evaluasi toleransi galur-galur padi terhadap keracunan besi di lahan sulfat masam. *Jurnal Pertanian Agric, 2006.* Universitas Satyawacana.
- Noor, A., Khairuddin dan D. I. Saderi. Keragaan beberapa varietas unggul padi di lahan rawa pasang surut sulfat masam. 2007. *Dalam. Prosiding Seminar Nasional Pertanian Lahan Rawa: Revitalisasi Kawasan PLG dan Lahan Rawa Lainnya untuk Membangun Lumbung Pangan Nasional, Kuala Kapuas, 3-4 Agustus 2007.* Badan Litbang Pertanian-Pemerintah Kabupaten Kapuas Kalimantan Tengah.
- Noor A., I.Lubis, M. Ghulamahdi, M. A. Chozin, K. Anwar, dan D. Wirnas. 2012. Pengaruh Konsentrasi Besi dalam Larutan Hara terhadap Gejala Keracunan Besi dan Pertumbuhan Tanaman Padi. *J. Agronomi Indonesia. 15 (2): 91-98.* Perhimpunan Agronomi Indonesia dan Institut Pertanian Bogor.
- Noor, A., I.Lubis, M. Ghulamahdi. 2015. Gejala Keracunan Besi Beberapa Varietas Padi pada Dua Musim Tanam di Lahan Pasang Surut. Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Pertanian Spesifik Lokasi, Banjarbaru, 6-7 Agustus 2014. Balai Besar Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian. Badan Litbang Pertanian.
- Peng, X.X. and M. Yamauchi. 1993. Ethylene production in rice bronzing leaves induced by ferrous iron, *Plant Soil* 149: 227-234.

- Sahrawat, K.L. 2004. Iron toxicity in wetland rice and the role of other nutrient. *J. Plant Nutr*, 27 (8): 1471-1504.
- Sahrawat, KL. 2000. Elemental composition of the rice plant as affected by iron toxicity under field conditions. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 31, 2819-2827.
- Sahrawat, KL. and S. Diatta. 1995. Nutrient management and season affect soil iron toxicity. Annual Report 1994. Bouaké, Côte d'Ivoire: West Africa Rice Development Association. p 34-35.
- Sarwani M, Noor M, Masganti. 1994. Potensi, kendala dan peluang pasang surut dalam perspektif pengembangan tanaman pangan. *Dalam. Pengelolaan Air dan Produktivitas Lahan Rawa Pasang Surut*. Balai Penelitian Tanaman Pangan. Banjarbaru.
- Suhartini T. 2004. Perbaikan varietas padi untuk lahan keracunan Fe. 2004. *Bul. Plasma Nutfah*. 10 (1): 1-11.
- Suhartini, T., A.K. Makarim. 2009. Teknik seleksi genotipe padi toleran keracunan besi. *J. Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*. 28:125-130.
- Tinh, TK. 1999. Reduction chemistry of acid sulphate soils: Reduction rates and influence of rice cropping. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Agraria* 206, Uppsala, Sweden.
- Widajaya Adhi IPG. 1986. Pengelolaan lahan pasang surut dan lebak. *Jurnal Litbang Pertanian* V (1), Januari 1996. Badan Litbang Pertanian.
- Yamauchi, M. and X.X. Peng. 1995. Iron toxicity and stress-induced ethylene production in rice leaves. *Plant and Soil* 173: 21-28. 1995.