

**Pengaruh Konsentrasi Besi dalam Larutan Hara terhadap Gejala
Keracunan Besi dan Pertumbuhan Tanaman Padi**

The Effect of Iron Concentration in Nutrient Solution to Iron Toxicity Symptoms and Growth of Rice

**Aidi Noor^{1*}, Iskandar Lubis², Munif Ghulamahdi², Muhammad Achmad Chozin²,
Khairil Anwar³, dan Desta Wirnas²**

¹Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Kalimantan Selatan
Jl. Panglima Batur Barat No.4 Banjarbaru 70711, Indonesia

²Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor
(Bogor Agricultural University), Jl. Meranti, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680, Indonesia

³Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa
Jl. Kebun Karet Kotak Pos 31, Loktabat-Banjarbaru, Indonesia

Diterima 1 Oktober 2011/Disetujui 8 Februari 2012

ABSTRACT

Iron (Fe) toxicity is a major constraint in rice production that decreases yield due to high level of soluble Fe. The aims of this experiment were to study the effect of particular Fe concentrations in nutrient solution on rice growth, and to determine Fe concentration in nutrient solution that caused light, moderate, and severe Fe toxicity symptom. The experiment was conducted in a greenhouse, Bogor Agricultural University from May to July 2010. A randomized block design with two factors and three replications were used in this study. The first factor was Fe concentration in the medium solution (2, 50, 100, 200, 400, 600 ppm Fe), and second factor was rice genotypes (IR64, Margasari). The results showed the higher Fe concentration in the solution resulted in higher scores of iron toxicity symptoms, higher Fe levels in the plant, and caused stunted growth of rice plants. Levels of Fe in a solution of ≥ 200 ppm Fe inhibited plant growth. Iron toxicity symptom in Margasari was lower than the IR64 varieties, especially at concentrations of 200 and 400 ppm. According to the regression equation $Y = 0.022X + 1849$, Fe concentration in the solution which caused light Fe toxicity symptom (score ≤ 3) was ≤ 52 ppm Fe, moderate (score = 5) was 143 ppm Fe, heavy (score = 7) was 234 ppm Fe, and severe (score ≥ 9) was ≥ 325 ppm Fe.

Keywords: iron toxicity symptoms, iron concentration, rice

ABSTRAK

Toksisitas besi (Fe) pada padi yang disebabkan oleh tingginya kadar Fe larut merupakan kendala utama dalam produksi padi. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh Fe dalam larutan media terhadap gejala toksisitas Fe dan pertumbuhan tanaman, serta untuk mendapatkan konsentrasi Fe dalam media larutan yang mengakibatkan keracunan Fe dengan kriteria berat, sedang dan ringan. Penelitian ini dilaksanakan di rumah kaca Institut Pertanian Bogor pada bulan Mei sampai Juli 2010. Penelitian disusun berdasarkan rancangan acak kelompok dengan dua faktor dan tiga ulangan. Faktor pertama merupakan konsentrasi Fe dalam larutan media (2, 50, 100, 200, 400, 600 ppm Fe), dan faktor kedua merupakan varietas padi (IR64 dan Margasari). Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi Fe dalam larutan semakin tinggi skor gejala toksisitas Fe dan kadar Fe dalam tanaman, dan semakin terhambatnya pertumbuhan tanaman padi. Konsentrasi Fe dalam larutan ≥ 200 ppm Fe menyebabkan terhambatnya pertumbuhan tanaman. Gejala toksisitas Fe pada varietas Margasari lebih ringan dibandingkan varietas IR.64 terutama pada konsentrasi 200 dan 400 ppm Fe. Berdasarkan persamaan regresi $Y = 0.022X + 1.849$ pada varietas IR64, konsentrasi Fe dalam larutan yang menyebabkan gejala keracunan Fe ringan (skor ≤ 3) adalah ≤ 52 ppm Fe, sedang (skor = 5) adalah 143 ppm Fe, agak berat (skor = 7) adalah 234 ppm Fe, dan berat (skor ≥ 9) adalah ≥ 325 ppm Fe.

Kata kunci: gejala keracunan Fe, konsentrasi Fe, padi

* Penulis untuk korespondensi. e-mail: aidinoor@yahoo.com

PENDAHULUAN

Keracunan besi (Fe) pada padi sawah merupakan kendala utama dalam produksi padi di daerah tropis dan subtropis yang disebabkan tingginya kadar besi larut dalam tanah. Keracunan Fe seringkali terjadi pada tanah Ultisol, Oxisol dan lahan pasang surut sulfat masam dengan kemasaman dan kadar Fe aktif yang tinggi (Sahrawat, 2004). Lahan pasang surut sulfat masam di Indonesia cukup luas yaitu 6.67 juta ha (Alihamsyah, 2004) dengan kandungan pirit yang tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa toksisitas Fe pada padi sawah dapat menurunkan hasil hingga 12-100% (Sahrawat, 2000; Sahrawat, 2004; Sahrawat, 2010). Berdasarkan hasil penelitian Audebert dan Sahrawat (2000), toksisitas Fe yang cukup berat pada tanaman padi mengakibatkan hambatan pertumbuhan, anakan tidak tumbuh sehingga hasil yang didapatkan sangat rendah dan bahkan dapat mengakibatkan kegagalan panen.

Gejala toksisitas Fe pada padi hanya terjadi pada kondisi spesifik yaitu dalam kondisi tergenang. Kondisi reduksi di lahan sawah tergenang menyebabkan toksisitas Fe melalui pelarutan semua bentuk Fe menjadi bentuk terlarut (Fe^{2+}) yang melibatkan mikroba pelarut (Beckers dan Asch, 2005; Audebert, 2006). Jumlah besi ferro yang tinggi di dalam larutan tanah juga dapat mengakibatkan terjadinya ketidakseimbangan hara mineral yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman (Audebert, 2006). Toksisitas Fe pada padi selain disebabkan tingginya kadar Fe di dalam tanah (Sahrawat, 2004) juga disebabkan karena penggunaan genotipe padi yang peka terhadap toksisitas Fe (Suhartini, 2004).

Gejala toksisitas Fe beragam di antara genotipe padi, dan umumnya adalah adanya bercak coklat keunguan dari daun yang diikuti dengan pengeringan. Gejala visual yang khas berhubungan dengan proses toksisitas Fe, terutama terjadinya akumulasi *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).

Penelitian ini bertujuan untuk: 1) mengetahui pengaruh konsentrasi Fe dalam media larutan terhadap gejala toksisitas Fe dan pertumbuhan tanaman, 2) mendapatkan konsentrasi Fe dalam media larutan yang mengakibatkan keracunan Fe dengan kriteria berat, sedang dan ringan.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di rumah kaca *University Farm* Cikabayan, dan di laboratorium *Research Group of Crop Improvement* (RGCI), Institut Pertanian Bogor mulai bulan Mei sampai dengan Juli 2010. Media percobaan menggunakan larutan hara Yoshida yang dimodifikasi konsentrasi Fe dan pH dalam larutan (Asch *et al.* 2005; Dorlodot *et al.*, 2005). Konsentrasi hara makro dan mikro media larutan yang digunakan adalah sebagai berikut: 40 ppm N (NH_4NO_3), 10 ppm P ($NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$),

40 ppm K (K_2SO_4), 40 ppm Ca ($CaCl_2$), 40 ppm Mg ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$), 0.5 ppm Mn ($MnCl_2 \cdot 4H_2O$), 0.05 ppm Mo ($(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$), 0.2 ppm B (H_3BO_3), 0.01 ppm Zn ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$), 0.01 ppm Cu ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$), dan 2 ppm Fe ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$).

Untuk mendapatkan kisaran konsentrasi Fe dalam larutan yang menyebabkan gejala toksisitas Fe ringan hingga sangat berat telah dilakukan penelitian pendahuluan. Padi IR64 dan Margasari diberi cekaman Fe pada kisaran konsentrasi yang luas (0-1,000 ppm Fe). Hasil penelitian setelah 2 minggu diberi cekaman Fe menunjukkan perlakuan konsentrasi Fe > 600 ppm menyebabkan tanaman padi IR. 64 dan Margasari mati, sehingga untuk konsentrasi maksimum Fe dalam penelitian adalah 600 ppm.

Penelitian disusun dalam Rancangan Kelompok Lengkap Teracak (RKLK) dengan dua faktor dan tiga ulangan. Faktor pertama adalah konsentrasi Fe dalam media larutan yang terdiri atas 6 taraf, yaitu (ppm Fe): 2 (kontrol), 50, 100, 200, 400, dan 600. Faktor kedua adalah varietas padi, yang terdiri atas IR64 (peka) dan Margasari (moderat).

Wadah tanam berupa pot plastik (PVC) dengan volume $\pm 1,200$ mL (diameter 7.5 cm dan panjang 23 cm), diisi dengan larutan sebanyak 1,000 mL yang mengandung hara dan Fe sesuai perlakuan. Permukaan pot ditutup untuk meminimalkan masuknya oksigen dan evaporasi pada larutan media. Kekurangan volume larutan ditambah setiap hari dengan larutan yang sama. Larutan hara diperbaharui setiap seminggu sekali. Bibit padi berumur 7 hari setelah semai (HSS) dipindahkan ke dalam larutan hara dengan konsentrasi Fe 2 ppm pada pH 4.5 untuk aklimatisasi. Setelah 7 hari dalam media aklimatisasi (14 HSS), tanaman dipindahkan ke dalam larutan hara pada pH 4.0 sesuai dengan perlakuan.

Skoring toksisitas Fe dilakukan seminggu sekali sampai umur tanaman 4 minggu setelah perlakuan (MSP), berdasarkan gejala keracunan pada tanaman dan daun menurut standar IRRI (1996) dan modifikasi dari Asch *et al.* (2005) dan Aung (2006) (Tabel 1). Skoring gejala toksisitas Fe dilakukan pada daun padi yang telah berkembang penuh. Pengamatan juga dilakukan terhadap tinggi tanaman (cm), panjang akar (cm), bobot kering akar (g), bobot kering tajuk (g), jumlah anakan, dan kadar Fe tajuk setelah tanaman berumur 4 MSP.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Skoring keracunan Fe dan Kadar Fe Tanaman

Hasil analisis ragam menunjukkan varietas berpengaruh nyata terhadap skor gejala toksisitas Fe pada 2 MSP, sedangkan skor gejala toksisitas Fe tidak dipengaruhi secara nyata oleh varietas pada 1, 3 dan 4 MSP. Konsentrasi Fe berpengaruh nyata terhadap skor gejala toksisitas Fe pada 1-4 MST dan juga pada kadar Fe tanaman pada 4 MSP. Interaksi antara varietas dan konsentrasi Fe hanya berpengaruh nyata terhadap kadar Fe tanaman (Tabel 2).

Skor toksisitas Fe menunjukkan semakin tinggi konsentrasi Fe dalam larutan semakin tinggi gejala toksisitas

Tabel 1. Skor gejala toksisitas Fe pada tanaman padi

Skor	Gejala pada tanaman	Daun keracunan Fe (%)*	Tingkat cekaman
1	Tidak ada gejala	0	Tidak ada
2	Pertumbuhan dan pembentukan anakan normal, pada ujung daun tua terdapat bercak (spot) berwarna coklat kemerahan atau jingga	1-9	Sangat ringan
3	Pertumbuhan dan pembentukan anakan hampir normal, daun tua berwarna coklat kemerahan, ungu atau kuning-jingga	10-29	Ringan
5	Pertumbuhan dan pembentukan anakan agak terhambat, beberapa daun berwarna coklat kemerahan atau kuning-jingga	30-49	Sedang
7	Pertumbuhan dan pembentukan anakan terhambat atau terhenti, banyak daun (hampir semua daun) berwarna coklat kemerahan atau kuning-jingga	50-69	Agak berat
9	Hampir semua tanaman (daun) mengering dan mati.	70-89	Berat
10	Semua tanaman (daun) kering dan mati	90-100	Sangat berat

Sumber: IRRI (1996); * Modifikasi Asch *et al.* (2005); Aung (2006)

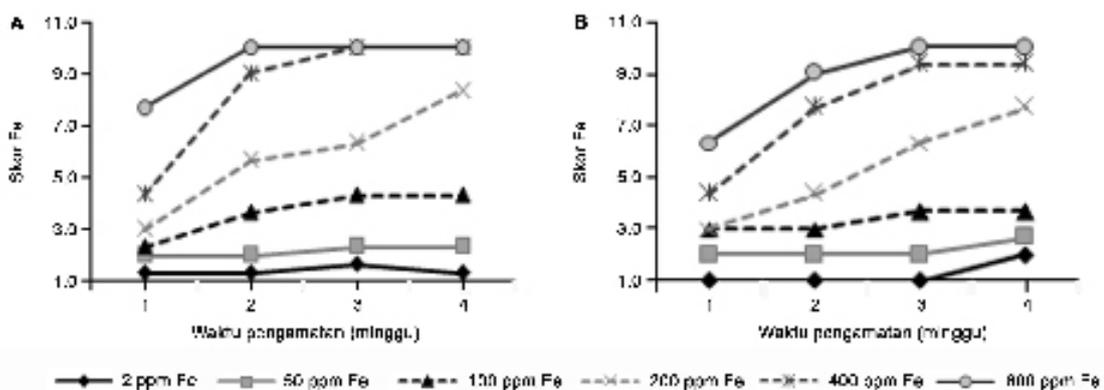
Tabel 2. Analisis ragam pengaruh konsentrasi Fe (0-600 ppm Fe) dan varietas padi (IR64 dan Margasari) terhadap skor keracunan Fe dan konsentrasi Fe dalam jaringan tanaman

Sumber keragaman	Skor gejala toksisitas Fe				Konsentrasi Fe tanaman (ppm)
	1 MSP	2 MSP	3 MSP	4 MSP	
Varietas (V)	tn	**	tn	tn	**
Konsentrasi Fe (K)	**	**	**	**	**
K*V	tn	tn	tn	tn	**

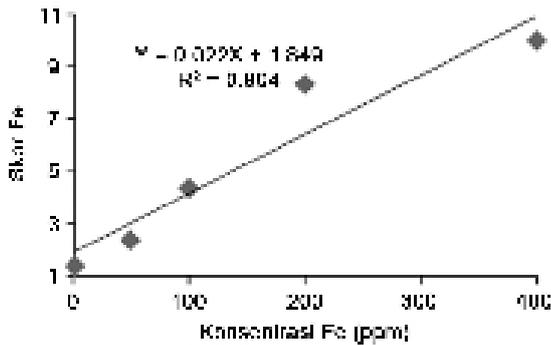
Keterangan: tn = tidak nyata, ** = berpengaruh sangat nyata berdasarkan uji F

Fe pada tanaman. Gejala toksisitas Fe varietas Margasari lebih rendah dibandingkan varietas IR64 terutama pada konsentrasi 200 dan 400 ppm Fe pada 2 MSP. Kedua varietas pada konsentrasi 600 ppm Fe mengalami gejala toksisitas Fe yang berat (skor 9-10) pada 3 dan 4 MSP (Gambar 1). Berdasarkan skor gejala toksisitas Fe, tidak terjadi peningkatan gejala toksisitas Fe yang tajam pada konsentrasi Fe rendah (2-100 ppm) hingga 4 MSP, baik pada varietas IR64 dan Margasari. Pada konsentrasi Fe yang lebih tinggi (200-600 ppm), gejala toksisitas Fe yang berat (skor 9-10) terjadi lebih cepat pada varietas IR64 (2 MSP) dibandingkan pada varietas Margasari (3 MSP).

Untuk mengetahui konsentrasi Fe yang menyebabkan gejala toksisitas Fe kategori ringan, sedang, dan berat pada tanaman dilakukan analisis regresi skor gejala toksisitas Fe pada varietas IR64 pada 4 MSP (Gambar 2). Berdasarkan persamaan regresi $Y = 0.022X + 1.849$, konsentrasi Fe dalam larutan yang menyebabkan gejala toksisitas Fe pada varietas IR64 adalah: gejala toksisitas ringan (skor ≤ 3) adalah ≤ 52 ppm Fe, gejala toksisitas Fe sedang (skor = 5) adalah 143 ppm Fe, gejala toksisitas Fe agak berat (skor = 7) adalah 234 ppm Fe, dan gejala keracunan Fe berat (skor ≥ 9) adalah ≥ 325 ppm Fe.



Gambar 1. Pengaruh konsentrasi Fe dalam larutan terhadap skor toksisitas Fe pada varietas IR64 (A) dan Margasari (B)

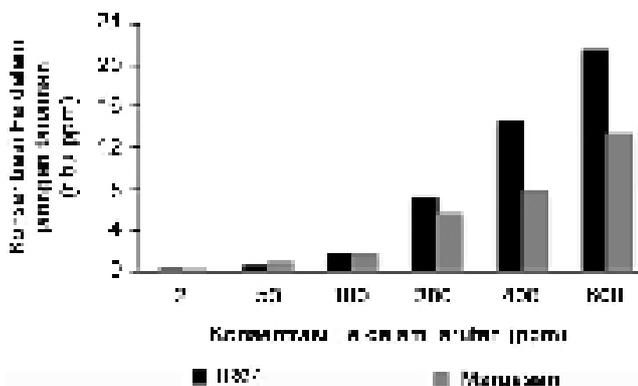


Gambar 2. Hubungan konsentrasi Fe dalam larutan dengan skor gejala toksisitas Fe pada varietas IR64 pada 4 MSP

Informasi mengenai konsentrasi Fe dalam larutan yang dapat menyebabkan gejala toksisitas Fe yang ringan hingga berat pada padi varietas IR64 dalam penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar untuk seleksi varietas padi yang toleran atau agak toleran secara cepat sebelum ditanam di lapang. Menurut Asch *et al.* (2005), untuk menghindari adanya keragaman kondisi di lapang, seleksi genotipe toleran Fe dapat dilakukan pada kondisi yang terkontrol di rumah kaca menggunakan metode larutan hara.

Hasil analisis kadar Fe jaringan tanaman padi menunjukkan semakin tinggi kadar Fe dalam larutan semakin tinggi kadar Fe dalam jaringan tanaman padi, hal ini sejalan dengan pengamatan skor toksisitas Fe pada tanaman yang semakin meningkat. Kadar Fe dalam jaringan tanaman padi varietas IR64 lebih tinggi dibandingkan varietas Margasari terutama pada konsentrasi 200-600 ppm Fe. Kadar Fe jaringan varietas IR64 pada konsentrasi 200-400 ppm Fe berkisar antara 7,232-21,517 ppm, sedangkan varietas Margasari berkisar antara 5,616-13,464 ppm (Gambar 3).

Toksistas Fe pada padi disebabkan tingginya kadar Fe dalam jaringan tanaman, yang berbeda-beda tergantung varietas atau kepekaan tanaman. Menurut Sahrawat (2000) batas kritis kadar Fe dalam tanaman padi yang menyebabkan toksistas Fe berkisar antara 300-500 ppm, sedangkan hasil penelitian Nozoe *et al.* (2008) menunjukkan bahwa batas kritis toksistas Fe pada tanaman padi berkisar antara 500-2,000 ppm Fe. Mekanisme terjadinya toksistas Fe dimulai



Gambar 3. Konsentrasi Fe jaringan tanaman padi varietas IR64 dan Margasari pada beberapa taraf Fe dalam media larutan

dari meningkatnya permeabilitas sel-sel akar terhadap ion Fe^{2+} seiring dengan meningkatnya proses reduksi 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 *et al.*, 1989).

Hasil-hasil penelitian menunjukkan kadar Fe dalam larutan yang menyebabkan keracunan Fe pada tanaman padi sangat beragam. Menurut Asch *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 yang peka. Hasil penelitian Dorlodot *et al.* (2005) pada konsentrasi Fe dalam larutan hara > 250 ppm menunjukkan gejala toksistas Fe dan menurunnya pertumbuhan tanaman padi. Selain disebabkan oleh tingginya kadar Fe larut, toksistas Fe juga dipengaruhi oleh pH larutan. Konsentrasi Fe dalam tanah yang menyebabkan toksistas Fe bervariasi dengan pH dalam larutan tanah (Sahrawat, 2004). Batas kritis konsentrasi Fe dalam larutan tanah yang menyebabkan toksistas Fe adalah sekitar 100 ppm pada pH 3.7 dan 300 ppm atau lebih tinggi pada pH 5.0 (Sahrawat *et al.*, 1996).

Pertumbuhan Tanaman

Hasil analisis ragam pertumbuhan tanaman menunjukkan varietas hanya berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman dan jumlah anakan. Varietas tidak berpengaruh nyata terhadap bobot kering tajuk, bobot kering akar dan panjang akar. Konsentrasi Fe berpengaruh nyata terhadap semua parameter pertumbuhan tanaman (Tabel 3).

Pengamatan agronomis tanaman menunjukkan tinggi, jumlah anakan dan bobot kering tajuk sangat dipengaruhi oleh konsentrasi Fe dalam larutan, semakin tinggi konsentrasi Fe semakin terhambat pertumbuhan tanaman baik pada varietas IR64 maupun Margasari. Konsentrasi Fe ≥ 200 ppm dalam larutan media menyebabkan terhambatnya pertumbuhan tanaman varietas Margasari dan IR64, yang ditunjukkan dengan tinggi tanaman, jumlah anakan dan bobot kering tanaman yang rendah. Pada konsentrasi 600 ppm, Fe menyebabkan tanaman padi mati pada 4 MSP.

Tinggi tanaman sangat dipengaruhi oleh konsentrasi Fe terutama pada konsentrasi 200-600 ppm, baik pada varietas IR64 maupun varietas Margasari. Konsentrasi Fe > 200 ppm secara nyata menurunkan tinggi tanaman dibandingkan tanaman pada konsentrasi ≤ 100 ppm. Varietas Margasari (moderat) memiliki tinggi tanaman yang lebih tinggi dibandingkan varietas IR64 (peka) (Tabel 4).

Jumlah anakan yang terbentuk dipengaruhi oleh perbedaan varietas, dimana varietas Margasari mempunyai anakan lebih banyak dibandingkan varietas IR64. Pembentukan anakan terhambat dengan meningkatnya konsentrasi Fe. Pada konsentrasi 200-600 ppm anakan yang terbentuk lebih rendah dibandingkan konsentrasi Fe ≤ 100 ppm (Tabel 4).

Tabel 3. Hasil analisis ragam pengaruh konsentrasi Fe dan varietas padi terhadap pertumbuhan tanaman

Sumber keragaman	Variabel pengamatan				
	Tinggi tanaman	Jumlah anakan	BK tajuk	BK akar	Panjang akar
Varietas (V)	**	*	tn	tn	tn
Konsentrasi Fe (K)	**	**	**	**	**
K*V	tn	tn	tn	tn	tn

Keterangan: tn = tidak nyata; * = berpengaruh nyata; ** = berpengaruh sangat nyata berdasarkan uji F; BK = bobot kering

Tabel 4. Pengaruh konsentrasi Fe dalam larutan dan varietas padi terhadap tinggi dan jumlah anakan tanaman

Konsentrasi Fe (ppm)	Tinggi tanaman (cm)		Rata-rata	Jumlah anakan		Rata-rata
	IR64	Margasari		IR64	Margasari	
2	51.0	50.0	50.5a	6.0	6.0	6.0a
50	40.3	47.3	43.8b	4.3	6.0	5.2a
100	38.3	47.3	42.8b	2.3	4.3	3.3b
200	28.0	38.0	33.0c	2.0	2.3	2.0c
400	28.7	33.3	31.0c	2.0	2.0	2.0c
600	26.7	33.0	29.9c	2.0	2.0	2.0c
Rata-rata	35.5b	41.5a		3.1b	3.7a	

Keterangan: Angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom atau baris yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada $\alpha = 5\%$

Konsentrasi Fe dalam larutan juga mempengaruhi bobot kering tajuk tanaman, semakin tinggi konsentrasi Fe semakin rendah bobot tanaman. Perbedaan varietas tidak mempengaruhi bobot kering tajuk tanaman. Konsentrasi 50-100 ppm Fe sudah dapat mempengaruhi bobot tajuk tanaman dimana bobot tajuk tanaman menurun dari 2.44 g pada perlakuan 2 ppm Fe (kontrol) menjadi 1.54 dan 1.31 g pada perlakuan 50 dan 100 ppm Fe. Pada perlakuan 400 dan 600 ppm Fe bobot tajuk menjadi sangat rendah yaitu 0.47 dan 0.39 g (Tabel 5).

Bobot kering akar, seperti halnya bobot kering tajuk, sangat dipengaruhi oleh konsentrasi Fe. Semakin tinggi konsentrasi Fe, pembentukan akar tanaman semakin terhambat. Konsentrasi 50 ppm Fe sudah mempengaruhi

pertumbuhan akar tanaman. Perlakuan konsentrasi 50-600 ppm Fe menurunkan bobot akar dari 0.51 (kontrol 2 ppm Fe) menjadi 0.07-0.35 g (Tabel 6). Berbeda dengan bobot kering akar, panjang akar mulai terhambat pada konsentrasi Fe ≥ 200 ppm. Pada konsentrasi 2-100 ppm Fe panjang akar berkisar antara 13.0-14.3 cm, sedangkan pada konsentrasi 200-600 ppm Fe panjang akar berkisar antara 10.2-12.4 cm (Tabel 6).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tanaman padi mulai menunjukkan gejala toksisitas Fe pada umur 2 MSP. Menurut Audebert (2006), besi ferro yang diserap tanaman dan terkonsentrasi pada daun mengakibatkan perubahan warna pada daun, mengurangi jumlah anakan dan secara nyata mengurangi hasil. Penurunan hasil padi karena

Tabel 5. Pengaruh konsentrasi Fe dalam larutan dan varietas padi terhadap bobot kering tajuk

Konsentrasi Fe (ppm)	Bobot kering tajuk (g)		Rata-rata
	IR64	Margasari	
2	2.69	2.18	2.44a
50	1.68	1.40	1.54b
100	1.29	1.33	1.31bc
200	0.81	1.27	1.04c
400	0.39	0.54	0.47d
600	0.34	0.45	0.39d
Rata-rata	1.20a	1.20a	

Keterangan: Angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom atau baris yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada $\alpha = 5\%$

Tabel 6. Pengaruh konsentrasi Fe dalam larutan dan varietas padi terhadap bobot kering dan panjang akar

Konsentrasi Fe (ppm)	Bobot kering akar (g)		Rata-rata	Panjang akar (cm)		Rata-rata
	IR64	Margasari		IR64	Margasari	
2	0.56	0.47	0.51a	14.1	14.4	14.3a
50	0.37	0.33	0.35b	13.5	12.5	13.0ab
100	0.28	0.26	0.27bc	13.7	12.4	13.2ab
200	0.14	0.23	0.19cd	10.9	13.9	12.4b
400	0.09	0.12	0.11de	11.5	12.5	12.0b
600	0.07	0.07	0.07e	9.6	10.7	10.2c
Rata-rata	0.25a	0.24a		12.3a	12.7a	

Keterangan: Angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom atau baris yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada $\alpha = 5\%$

toksistas Fe juga disebabkan karena terganggunya proses metabolisme di dalam tanaman yang berakibat terjadinya perubahan karakter agronomi maupun fisiologi dalam tanaman padi.

Gejala toksistas Fe pada tanaman ditunjukkan dengan menurunnya tinggi tanaman, berkurangnya anakan, dan berkurangnya klorofil tanaman (Fageria *et al.*, 2008). Tanaman yang keracunan Fe akarnya menjadi sedikit, kasar, pendek, dan berwarna coklat gelap (Sahrawat, 2004; Fageria *et al.*, 2008). Dengan meningkatnya stres toksistas Fe, daun tanaman menjadi coklat keunguan, diikuti dengan pengeringan daun dan tanaman terlihat seperti terbakar (Sahrawat, 2004).

Korelasi antara Gejala Keracunan Fe dan Pertumbuhan Tanaman

Hasil analisis korelasi menunjukkan bahwa skor gejala toksistas Fe nyata berkorelasi negatif dengan kadar Fe dalam jaringan tanaman dan pertumbuhan tanaman. Kadar Fe dalam jaringan tanaman juga nyata berkorelasi

negatif dengan pertumbuhan tanaman. Nilai korelasi antara skor toksistas Fe dengan pertumbuhan tanaman semakin meningkat mulai 2 sampai dengan 4 MSP. Sebaliknya, korelasi antara skor toksistas Fe dengan panjang akar semakin menurun dengan lamanya perlakuan toksistas Fe (Tabel 7).

Hasil analisis korelasi ini menunjukkan semakin tinggi skor gejala toksistas Fe ataupun kadar Fe tanaman maka pertumbuhan tanaman semakin terhambat. Semakin tinggi kadar Fe dalam larutan media maka gejala toksistas Fe dan kadar Fe pada tanaman juga semakin meningkat (Tabel 2, Gambar 1-3). Toksistas Fe pada tanaman menyebabkan terhambatnya pertumbuhan tanaman padi (Tabel 3-6). Hasil-hasil penelitian lain juga menunjukkan semakin tinggi konsentrasi Fe dalam larutan semakin tinggi kemungkinan keracunan besi pada tanaman dan bahwa skor gejala toksistas Fe maupun kadar Fe dalam tanaman berkorelasi negatif dengan pertumbuhan dan hasil padi. Hasil penelitian Mehraban *et al.* (2008) menunjukkan tingginya kadar Fe pada tanaman berkorelasi negatif dengan pertumbuhan tanaman. Hasil penelitian Audebert (2006)

Tabel 7. Matriks korelasi antara variabel pengamatan skoring Fe, kadar Fe jaringan dan pertumbuhan tanaman

Variabel	Sk Fe M ₁	Sk Fe M ₂	Sk Fe M ₃	Sk Fe M ₄	Kadar Fe	Tinggi	Jumlah anakan	Bobot kering tajuk	Bobot kering akar	Panjang akar
Sk Fe M ₁	1.000	0.886	0.830	0.803	0.910	-0.687	-0.630	-0.759	-0.738	-0.691
Sk Fe M ₂		1.000	0.961	0.931	0.936	-0.798	-0.759	-0.859	-0.823	-0.681
Sk Fe M ₃			1.000	0.949	0.887	-0.781	-0.816	-0.873	-0.844	-0.596
Sk Fe M ₄				1.000	0.844	-0.815	-0.815	-0.840	-0.851	-0.590
Kadar Fe					1.000	-0.771	-0.654	-0.778	-0.754	-0.692
Tinggi						1.000	0.761	0.754	0.799	0.566
Jumlah anakan							1.000	0.765	0.810	0.482
Bobot kering tajuk								1.000	0.919	0.698
Bobot kering akar									1.000	0.621
Panjang akar										1.000

Keterangan: n-2 = 34, $r \geq 0.329-0.423$ = berkorelasi nyata, $r \geq 0.424$ = berkorelasi sangat nyata; Sk Fe M_x = Skoring Fe minggu ke x

dan Suhartini dan Makarim (2009) menunjukkan skor gejala toksisitas Fe berkorelasi negatif dengan hasil padi.

Tingkat toksisitas Fe dan hasil gabah selain dipengaruhi oleh kondisi lingkungan juga tergantung kepekaan atau toleransi varietas yang ditanam. Hasil penelitian Sahrawat (2000), Audebert dan Sahrawat (2000) menunjukkan bahwa hasil padi yang tinggi bersesuaian secara fisiologi dengan sifat toleransi terhadap toksisitas Fe. Hasil penelitian Suhartini dan Makarim (2009) pada lahan sawah bermasalah keracunan Fe menunjukkan bahwa varietas yang peka seperti IR64 memperlihatkan gejala toksisitas Fe yang berat dengan hasil gabah yang sangat rendah (0.8 ton ha⁻¹), sedangkan varietas untuk lahan pasang surut dengan toleransi moderat seperti Dendang dan Banyu Asin memberikan hasil gabah yang lebih tinggi, yaitu 2.6 ton ha⁻¹ dan 2.1 ton ha⁻¹. Pada penelitian Sutami *et al.* (2003), varietas Dendang dan Banyu Asin bahkan dapat berproduksi lebih tinggi di lahan pasang surut bergambut yaitu 3.60 ton ha⁻¹ dan 3.61 ton ha⁻¹.

KESIMPULAN

Semakin tinggi konsentrasi Fe dalam larutan hara semakin tinggi skor gejala toksisitas Fe, kadar Fe dalam tanaman, dan pertumbuhan tanaman padi semakin terhambat. Konsentrasi Fe dalam larutan ≥ 200 ppm menyebabkan terhambatnya pertumbuhan tanaman baik pada varietas Margasari maupun IR64. Konsentrasi 600 ppm menyebabkan tanaman padi mati pada 4 MSP. Gejala toksisitas Fe pada varietas Margasari lebih ringan dibandingkan varietas IR64 terutama pada konsentrasi Fe 200 dan 400 ppm. Pada varietas IR64, konsentrasi Fe dalam larutan yang menyebabkan gejala keracunan Fe ringan (skor ≤ 3) adalah ≤ 52 ppm Fe, sedang (skor = 5) adalah 143 ppm Fe, agak berat (skor = 7) adalah 234 ppm Fe, dan berat (skor ≥ 9) adalah ≥ 325 ppm Fe.

DAFTAR PUSTAKA

Alihamsyah, T. 2004. Potensi dan pendayagunaan lahan rawa untuk peningkatan produksi padi. *Dalam* F. Kasrino, E. Pasandaran, dan A.M. Pagi (Eds.). *Ekonomi Padi dan Beras Indonesia*. 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., K.L. Sahrawat. 2000. Mechanisms for iron toxicity tolerance in lowland rice. *J. Plant Nutr.* 23:1877-1885.

Audebert, A. 2006. Iron partitioning as a mechanism for iron toxicity tolerance in lowland rice. p. 34-46. *In* A. Audebert, L.T. Narteh, D. Millar, B. Beks (Eds.). *Iron Toxicity in Rice-Based System in West Africa*. Africa Rice Center (WARDA).

Aung, T. 2006. Physiological mechanisms of iron toxicity tolerance in lowland rice. Thesis. Institute of Crop Science and Resource Conservation (INRES). Department of Plant Nutrition. University of Bonn, Germany.

Becker, M., F. Asch. 2005. Iron toxicity in rice-condition and management concept. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168:558-573.

Dorlodot, S., S. Lutts, P. Bertin. 2005. Effect of ferrous iron toxicity on the growth and mineral competition of an interspecific rice. *J. Plant Nutr.* 28:1-20.

Fageria, N.K., A. B. Santos, M.P.B. Filho, C.M. Guimaraes. 2008. Iron toxicity in lowland rice. *J. Plant Nutr.* 31:1676-1697.

[IRRI] International Rice Research Institute. 1996. Standard Evaluation System for Rice. 4th Ed. IRRI, Manila, Philippines.

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 Sci.* 173:96-105.

Makarim, A.K., O. Sudarman, H. Supriadi. 1989. Status hara tanaman padi berkeracunan Fe di daerah Batumarta, Sumatera Selatan. *Penelitian Pertanian.* 9:166-170.

Mehraban, P., A. A. Zadeh, H. R. Sadeghipour. 2008. Iron toxicity in rice (*Oryza sativa* L.) under different potassium nutrition. *Asian J. Plant Sci.* 7:251-259.

Nozoe, T., R. Agbisiti, Y. Fukuta, R. Rodriguez, S. Yanagihara. 2008. Characteristics of iron tolerant rice lines developed at IRRI under field conditions. *JARQ.* 42:187-192.

Peng, X.X., M. Yamauchi. 1993. Ethylene production in rice bronzing leaves induced by ferrous iron. *Plant Soil* 149:227-234.

Sahrawat, K.L., C.K. Mulbah, S. Diatta, R.D. DeLaune, W.H. Patrick, B.N. Singh, M.P. Jones. 1996. The role of tolerant genotypes and plant nutrients in the management of iron toxicity in lowland rice. *J. Agric. Sci.* 126:143-149.

Sahrawat, K.L. 2000. Elemental composition of the rice plant as affected by iron toxicity under field conditions. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 31:2819-2827.

Sahrawat, K.L. 2004. Iron toxicity in wetland rice and the role of other nutrients. *J. Plant Nutr.* 27:1471-1504.

Sahrawat, K.L. 2010. Reducing iron toxicity in lowland rice with tolerant genotypes and plant nutrition. *Plant Stress* 4:70-75.

Suhartini, T. 2004. Perbaikan varietas padi untuk lahan keracunan Fe. *Bul. Plasma Nutfah* 10:1-11.

Suhartini, T., A.K. Makarim. 2009. Teknik seleksi genotipe padi toleran keracunan besi. *J. Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 28:125-130.

Sutami, F. Azzahra, M. Imberan. 2003. Penampilan dua belas galur padi terpilih dan hasil persilangan dan introduksi di lahan pasang surut bergambut. *Bul. Agron.* 31:89-93.