

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil

Hasil analisis sidik ragam pertumbuhan tanaman menunjukkan konsentrasi Fe berpengaruh sangat nyata terhadap semua peubah yang diamati, kecuali pada peubah jumlah anakan dan jumlah akar konsentrasi Fe berpengaruh nyata. Jenis padi berpengaruh sangat nyata terhadap tinggi tanaman, jumlah daun, panjang akar, jumlah akar, berat basah tajuk, berat basah akar, berat kering tajuk dan berat kering akar. Jenis padi tidak berpengaruh nyata terhadap jumlah klorofil, jumlah anakan dan rasio tajuk akar. Interaksi antara konsentrasi dan jenis padi memberikan pengaruh sangat nyata terhadap tinggi tanaman, panjang akar, jumlah akar, berat kering tajuk dan berat kering akar, sedangkan pada peubah jumlah daun interaksi berpengaruh nyata. Interaksi tidak berpengaruh nyata terhadap jumlah klorofil, jumlah anakan, berat basah tajuk, berat basah akar dan rasio tajuk akar (Tabel 3).

Tabel 3. Analisis sidik ragam pengaruh konsentrasi Fe (0, 200, 400 ppm Fe) dan beberapa jenis padi terhadap pertumbuhan tanaman

Peubah yang diamati	Konsentrasi Fe		Jenis padi		Interaksi		KK (%)
	F. Hit	Pr > F	F. Hit	Pr > F	F. Hit	Pr > F	
Tinggi tanaman	60.09**	<.0001	12.03**	<.0001	3.28**	0.0057	10.13
Jumlah daun	39.69**	<.0001	5.77**	0.0008	2.25*	0.0419	25.62
Jumlah klorofil (t)	70.25**	<.0001	2.47tn	0.0544	1.93tn	0.0799	13.91
Jumlah anakan (t)	4.17*	0.0252	1.79tn	0.1451	0.73tn	0.6869	29.07
Panjang akar	248.19**	<.0001	5.80**	0.0007	3.80**	0.0022	10.85
Jumlah akar	4.71*	0.0166	11.70**	<.0001	3.20**	0.0065	21.21
Berat basah tajuk (t)	37.02**	<.0001	7.17**	0.0002	2.13tn	0.0536	14.79
Berat basah akar (t)	23.22**	<.0001	8.73**	<.0001	1.69tn	0.1294	11.56
Berat kering tajuk (t)	25.07**	0.0011	5.32**	0.0013	3.31**	0.0053	12.21
Berat kering akar	18.18**	<.0001	10.58**	<.0001	4.92**	0.0003	31.67
Rasio tajuk akar (t)	14.19**	<.0001	0.30tn	0.9089	1.13tn	0.3703	14.32

Keterangan :

- KK : Koefisien keragaman
- ** : Berpengaruh sangat nyata
- * : Berpengaruh nyata
- tn : Tidak berpengaruh nyata
- F. Hit : F hitung
- Pr > F : Nilai *probability*
- t : transformasi data ($\sqrt{y} + \frac{1}{2}$)

Tabel 4. Rerata tinggi tanaman (cm) pada perlakuan jenis padi dan konsentrasi Fe

Jenis padi	Konsentrasi Fe			Rerata
	0 ppm	200 ppm	400 ppm	
MR1510	55,70 ab	50,60 bcd	40,43 fgh	48,91 A
MP2046	50,84 bc	36,94 gh	33,96 h	40,58 B
Inpago 8	61,64 a	42,97 efg	37,94 gh	47,52 A
Banyuasin	47,30 cdef	39,50 gh	25,58 i	37,46 B
Aksesi Radik	38,99 gh	43,26 defg	35,03 h	39,10 B
Aksesi Runteh Puren	54,56 abc	50,19 bcde	39,32 gh	48,02 A
Rerata	51,50 A	43,91 B	35,38 C	43,60

Keterangan : Angka pada baris dan kolom yang diikuti oleh huruf kecil yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata, sedangkan angka-angka pada baris atau kolom yang diikuti huruf besar yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji Beda Nyata Terkecil (BNT) $\alpha=5\%$

Perlakuan interaksi tertinggi untuk peubah tinggi tanaman diperoleh konsentrasi Fe 0 ppm dan jenis padi Varietas Inpago 8, tetapi tidak berbeda nyata dengan konsentrasi Fe 0 ppm MR1510 dan konsentrasi Fe 0 ppm Aksesi Runteh Puren. Rerata tinggi tanaman terbaik terdapat pada jenis padi MR1510, tetapi tidak berbeda nyata dengan jenis padi Varietas Inpago 8 dan Aksesi Runteh Puren. Perlakuan konsentrasi Fe 0 ppm menghasilkan rerata tinggi tanaman terbaik yang berbeda nyata dengan perlakuan konsentrasi Fe 200 dan 400 ppm (Tabel 4).

Tabel 5. Rerata jumlah daun (helai) pada perlakuan jenis padi dan konsentrasi Fe

Jenis padi	Konsentrasi Fe			Rerata
	0 ppm	200 ppm	400 ppm	
MR1510	8,89 bc	7,56 cd	3,72 fg	6,72 BC
MP2046	6,76 cde	6,35 cdefg	3,58 g	5,56 C
Inpago 8	10,72 ab	5,22 defg	3,78 efg	6,57 BC
Banyuasin	12,00 a	11,80 ab	4,00 efg	9,27 A
Aksesi Radik	6,38 cdefg	6,67 cdef	4,40 efg	5,82 C
Aksesi Runteh Puren	10,61 ab	9,28 abc	4,83 defg	8,24 AB
Rerata	9,23 A	7,81 B	4,05 C	7,03

Keterangan : Angka pada baris dan kolom yang diikuti oleh huruf kecil yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata, sedangkan angka-angka pada baris atau kolom yang diikuti huruf besar yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji Beda Nyata Terkecil (BNT) $\alpha=5\%$

Perlakuan interaksi tertinggi untuk peubah jumlah daun diperoleh konsentrasi Fe 0 ppm dan jenis padi Varietas Banyuasin tetapi tidak berbeda nyata dengan konsentrasi Fe 0 ppm Varietas Inpago 8, konsentrasi Fe 0 ppm Aksesori Runteh Puren, konsentrasi Fe 200 ppm Varietas Banyuasin dan konsentrasi Fe 200 ppm Aksesori Runteh Puren. Rerata jumlah daun terbaik diperoleh jenis padi Varietas Banyuasin yang tidak berbeda nyata dengan Aksesori Runteh Puren. Konsentrasi Fe 0 ppm memiliki rerata jumlah daun terbaik yang berbeda nyata dengan perlakuan konsentrasi Fe 200 dan 400 ppm (Tabel 5).

Tabel 6. Rerata panjang akar (cm) pada perlakuan jenis padi dan konsentrasi Fe

Jenis padi	Konsentrasi Fe			Rerata
	0 ppm	200 ppm	400 ppm	
MR1510	32,95 a	19,08 c	14,63 de	22,22 AB
MP2046	32,28 a	16,88 cd	16,12 cd	21,76 B
Inpago 8	34,86 a	15,67 cd	13,64 de	21,39 B
Banyuasin	27,44 b	16,27 cd	11,70 e	18,47 C
Aksesori Radik	26,17 b	18,59 c	16,79 cd	20,52 BC
Aksesori Runteh Puren	33,17 a	23,68 b	15,42 cde	24,09 A
Rerata	31,15 A	18,36 B	14,72 C	21,41

Keterangan : Angka pada baris dan kolom yang diikuti oleh huruf kecil yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata, sedangkan angka-angka pada baris atau kolom yang diikuti huruf besar yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji Beda Nyata Terkecil (BNT) $\alpha=5\%$

Perlakuan interaksi tertinggi untuk peubah panjang akar diperoleh konsentrasi Fe 0 ppm dan jenis padi Varietas Inpago 8, tetapi tidak berbeda nyata dengan konsentrasi Fe 0 ppm MR1510, konsentrasi Fe 0 ppm MP2046 dan konsentrasi Fe 0 ppm Aksesori Runteh Puren. Rerata panjang akar terbaik diperoleh jenis padi Aksesori Runteh Puren yang tidak berbeda nyata dengan MR1510. Konsentrasi Fe 0 ppm memiliki rerata panjang akar terbaik yang berbeda nyata dengan konsentrasi Fe 200 dan 400 ppm (Tabel 6).

Perlakuan interaksi tertinggi untuk peubah jumlah akar diperoleh konsentrasi Fe 0 ppm dan jenis padi Varietas Banyuasin, tetapi tidak berbeda nyata dengan konsentrasi Fe 0 ppm Varietas Inpago 8, konsentrasi Fe 200 ppm MR1510 dan konsentrasi Fe 200 ppm Varietas Banyuasin.

Rerata jumlah akar terbaik diperoleh jenis padi Varietas Banyuasin yang tidak berbeda nyata dengan Varietas Inpago 8. Konsentrasi Fe 200 ppm memiliki rerata panjang akar terbaik yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan konsentrasi Fe 0 ppm (Tabel 7).

Tabel 7. Rerata jumlah akar (helai) pada perlakuan jenis padi dan konsentrasi Fe

Jenis padi	Konsentrasi Fe			Rerata
	0 ppm	200 ppm	400 ppm	
MR1510	24,89 fgh	43,55 abcd	30,65 efgh	33,03 BC
MP2046	19,76 h	26,08 efgh	22,54 gh	22,79 D
Inpago 8	45,28 abc	36,89 bcde	33,41 defg	38,53 AB
Banyuasin	52,97 a	46,12 ab	30,67 efgh	43,25 A
Aksesi Radik	24,08 fgh	28,19 efgh	28,50 efgh	26,92 CD
Aksesi Runteh Puren	20,83 h	34,00 cdef	28,06 efgh	27,63 CD
Rerata	31,30 AB	35,81 A	28,97 B	32,03

Keterangan : Angka pada baris dan kolom yang diikuti oleh huruf kecil yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata, sedangkan angka-angka pada baris atau kolom yang diikuti huruf besar yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji Beda Nyata Terkecil (BNT) $\alpha=5\%$

Tabel 8. Rerata berat kering tajuk (g) pada perlakuan jenis padi dan konsentrasi Fe

Jenis padi	Konsentrasi Fe			Rerata
	0 ppm	200 ppm	400 ppm	
MR1510	0,80 bcd	1,22 ab	0,24 f	0,75 AB
MP2046	0,77 bcd	0,22 f	0,25 f	0,41 C
Inpago 8	1,24 ab	0,66 cde	0,29 ef	0,73 AB
Banyuasin	0,55 cdef	0,84 bc	0,17 f	0,52 BC
Aksesi Radik	0,27 ef	0,38 def	0,19 f	0,28 C
Aksesi Runteh Puren	1,48 a	0,67 cde	0,27 ef	0,81 A
Rerata	0,85 A	0,67 A	0,24 B	0,58

Keterangan : Angka pada baris dan kolom yang diikuti oleh huruf kecil yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata, sedangkan angka-angka pada baris atau kolom yang diikuti huruf besar yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji Beda Nyata Terkecil (BNT) $\alpha=5\%$

Perlakuan interaksi tertinggi untuk peubah berat kering tajuk diperoleh konsentrasi Fe 0 ppm dan jenis padi Aksesi Runteh Puren, tetapi tidak berbeda nyata dengan konsentrasi Fe 0 ppm Varietas Inpago 8 dan konsentrasi Fe 200 ppm MR1510. Rerata berat kering tajuk terbaik diperoleh jenis padi Aksesi Runteh Puren yang tidak berbeda nyata dengan

padi MR1510 dan Varietas Inpago 8. Konsentrasi Fe 0 ppm memiliki rerata berat kering tajuk terbaik yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan konsentrasi Fe 200 ppm (Tabel 8).

Tabel 9. Rerata berat kering akar (g) pada perlakuan jenis padi dan konsentrasi Fe

Jenis padi	Konsentrasi Fe			Rerata
	0 ppm	200 ppm	400 ppm	
MR1510	0,28 cdef	0,34 bc	0,21 cdefg	0,28 BC
MP2046	0,34 bc	0,12 g	0,13 g	0,20 DE
Inpago 8	0,45 b	0,31 cde	0,24 cdefg	0,33 AB
Banyuasin	0,20 defg	0,33 bcd	0,14 g	0,22 CD
Aksesi Radik	0,11 g	0,16 fg	0,13 g	0,13 E
Aksesi Runteh Puren	0,62 a	0,30 cde	0,18 efg	0,37 A
Rerata	0,33 A	0,26 B	0,17 C	0,26

Keterangan : Angka pada baris dan kolom yang diikuti oleh huruf kecil yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata, sedangkan angka-angka pada baris atau kolom yang diikuti huruf besar yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji Beda Nyata Terkecil (BNT) $\alpha=5\%$

Perlakuan interaksi tertinggi untuk peubah berat kering akar diperoleh konsentrasi Fe 0 ppm dan jenis padi Aksesi Runteh Puren yang berbeda nyata dengan perlakuan interaksi konsentrasi Fe dan jenis padi lainnya. Rerata berat kering akar terbaik diperoleh jenis padi Aksesi Runteh Puren yang tidak berbeda nyata dengan padi Varietas Inpago 8. Konsentrasi Fe 0 ppm memiliki rerata berat kering akar terbaik yang berbeda nyata dengan konsentrasi Fe 200 dan 400 ppm (Tabel 9).

Tabel 10. Rerata jumlah klorofil, jumlah anakan, berat basah tajuk, berat basah akar dan rasio tajuk akar pada perlakuan konsentrasi Fe

Peubah	Konsentrasi Fe		
	0 ppm	200 ppm	400 ppm
Jumlah klorofil (CCI)	5,23 a	2,55 b	1,38 c
Jumlah anakan (batang)	1,11 a	1,07 a	0,53 b
Berat basah tajuk (g)	2,38 a	1,55 b	0,66 c
Berat basah akar (g)	1,10 a	0,60 b	0,46 b
Rasio tajuk akar	2,60 a	2,50 a	1,43 b

Keterangan : Angka pada baris yang diikuti oleh huruf kecil yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji Beda Nyata Terkecil (BNT) $\alpha=5\%$

Rerata jumlah anakan dan rasio tajuk akar terbaik terdapat pada konsentrasi Fe 0 ppm yang tidak berbeda nyata dengan konsentrasi Fe 200

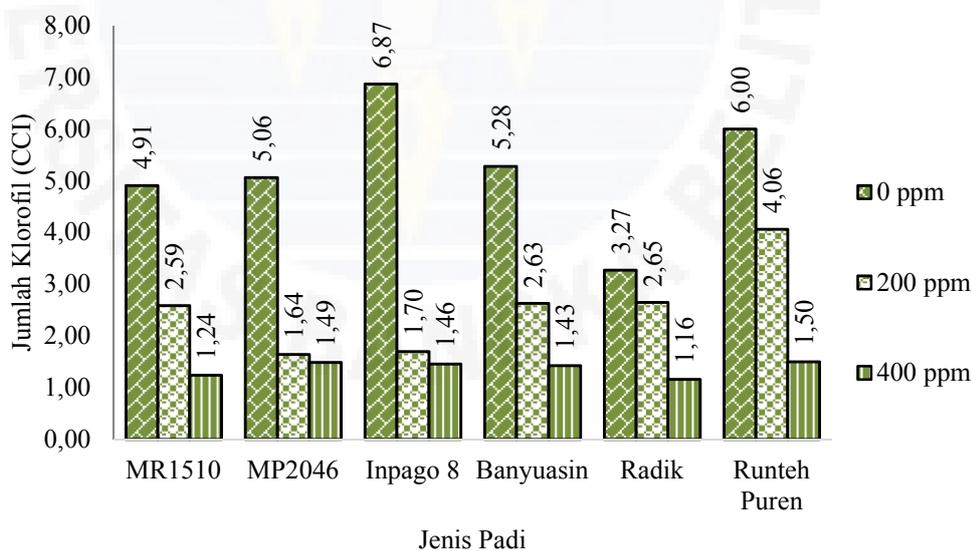
ppm. Rerata jumlah klorofil, berat basah tajuk dan berat basah akar terbaik terdapat pada perlakuan konsentrasi Fe 0 ppm yang berbeda nyata dengan perlakuan konsentrasi Fe 200 dan 400 ppm (Tabel 10).

Tabel 11. Rerata berat basah tajuk dan berat basah akar pada perlakuan jenis padi

Jenis padi	Peubah yang diamati	
	Berat basah tajuk (g)	Berat basah akar (g)
MR1510	1,74 ab	0,81 ab
MP2046	0,88 c	0,52 cd
Inpago 8	2,14 a	1,10 a
Banyuasin	1,53 b	0,66 bc
Aksesi Radik	0,88 c	0,32 d
Aksesi Runteh Puren	2,00 ab	0,91 ab

Keterangan : Angka pada kolom yang diikuti oleh huruf kecil yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji Beda Nyata Terkecil (BNT) $\alpha=5\%$

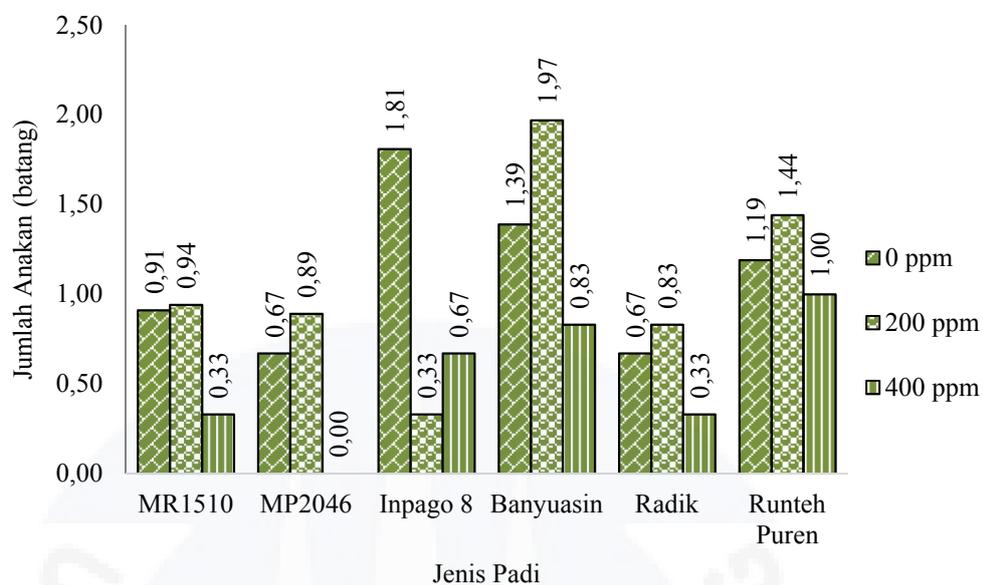
Rerata berat basah tajuk dan berat basah akar terbaik diperoleh jenis padi Varietas Inpago 8 yang tidak berbeda nyata dengan padi Aksesi Runteh Puren dan MR1510. Rerata berat basah tajuk dan berat basah akar terendah terdapat pada jenis padi Aksesi Radik yang tidak berbeda nyata dengan padi MP2046 (tabel 11).



Gambar 1. Rerata jumlah klorofil (CCI) pada perlakuan konsentrasi Fe dan jenis padi

Hasil sidik ragam menunjukkan bahwa rerata jumlah klorofil tidak berpengaruh nyata. Rerata kombinasi perlakuan antara jenis padi dan

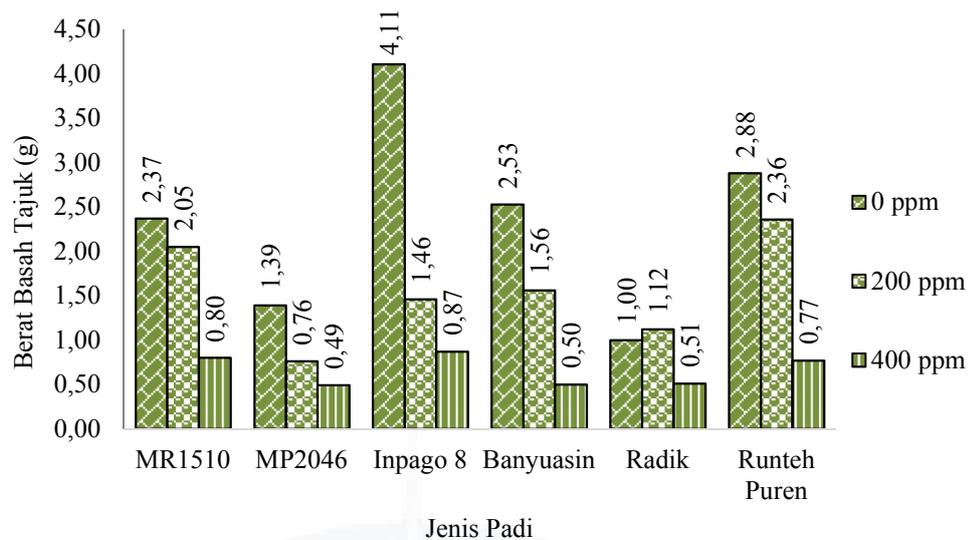
konsentrasi Fe pada peubah jumlah klorofil mempunyai pola yang sama yaitu semakin tinggi cekaman Fe maka jumlah klorofil daun mengalami penurunan (Gambar 1).



Gambar 2. Rerata jumlah anakan (batang) pada perlakuan konsentrasi Fe dan jenis padi

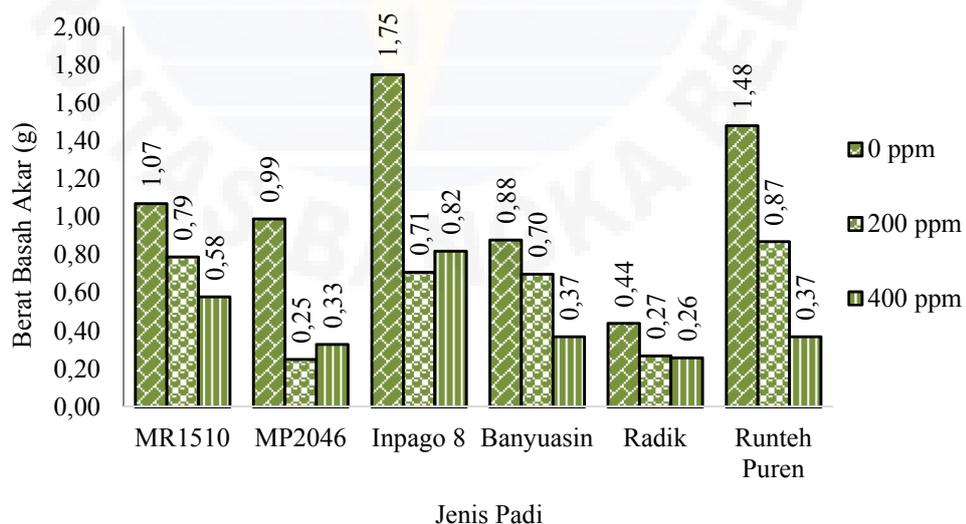
Hasil sidik ragam menunjukkan bahwa rerata jumlah anakan tidak berpengaruh nyata. Rerata kombinasi perlakuan antara jenis padi dan konsentrasi Fe pada peubah jumlah anakan mempunyai pola yang sama yaitu pada konsentrasi Fe 200 ppm semua jenis padi kecuali Varietas Inpago 8 mengalami peningkatan pertumbuhan anakan dan pada konsentrasi Fe 400 ppm pertumbuhan anakan terhambat (Gambar 2).

Hasil sidik ragam menunjukkan bahwa rerata berat basah tajuk tidak berpengaruh nyata. Rerata kombinasi perlakuan antara jenis padi dan konsentrasi Fe pada peubah berat basah tajuk mempunyai pola yang sama yaitu semakin tinggi cekaman Fe maka berat basah tajuk mengalami penurunan, kecuali pada jenis padi Akses Radik yang mengalami peningkatan berat basah tajuk pada konsentrasi Fe 200 ppm (Gambar 3).



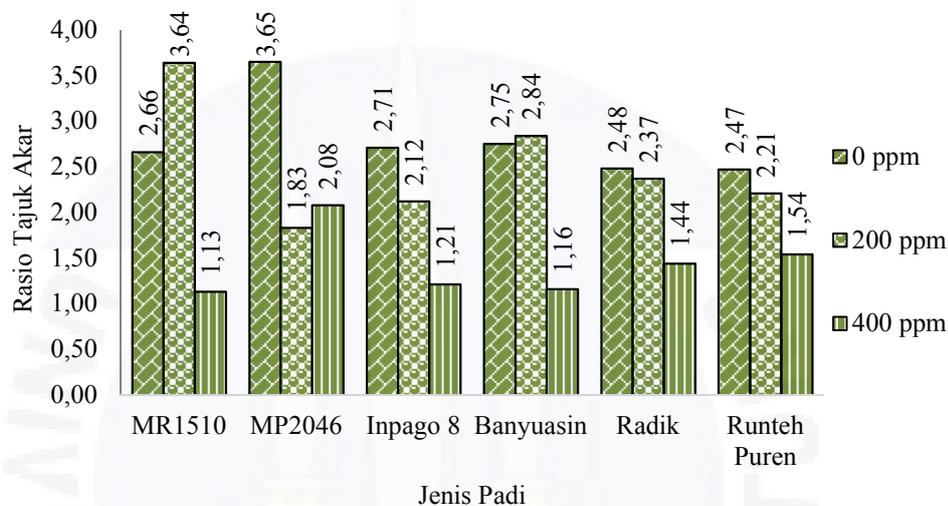
Gambar 3. Rerata berat basah tajuk (g) pada perlakuan konsentrasi Fe dan jenis padi

Hasil sidik ragam menunjukkan bahwa rerata berat basah akar tidak berpengaruh nyata. Rerata kombinasi perlakuan antara jenis padi dan konsentrasi Fe pada peubah berat basah akar mempunyai pola yang sama yaitu semakin tinggi cekaman Fe maka berat basah akar mengalami penurunan, kecuali pada jenis padi MP2046 dan Varietas Inpago 8 yang mengalami peningkatan berat basah akar pada konsentrasi Fe 400 ppm (Gambar 4).



Gambar 4. Rerata berat basah akar (g) pada perlakuan konsentrasi Fe dan jenis padi

Hasil sidik ragam menunjukkan bahwa rerata rasio tajuk akar tidak berpengaruh nyata. Rerata kombinasi perlakuan antara jenis padi dan konsentrasi Fe pada peubah rasio tajuk akar mempunyai pola yang sama yaitu semakin tinggi cekaman Fe maka rasio tajuk akar mengalami penurunan, kecuali pada jenis padi MR1510 dan Varietas Banyuasin yang mengalami peningkatan rasio tajuk akar pada konsentrasi Fe 200 ppm, sedangkan padi MP2046 mengalami peningkatan rasio tajuk akar pada konsentrasi Fe 400 ppm (Gambar 5).



Gambar 5. Rerata rasio tajuk akar pada perlakuan konsentrasi Fe dan jenis padi

Hasil analisis korelasi menunjukkan bahwa skor gejala toksisitas Fe konsentrasi 200 ppm berkorelasi negatif dengan pertumbuhan tanaman. Korelasi antara skor toksisitas Fe dengan peubah jumlah daun, jumlah klorofil, jumlah anakan, berat basah tajuk dan berat basah akar menunjukkan korelasi yang cukup kuat. Peubah tinggi tanaman, panjang akar, jumlah akar, berat kering tajuk, berat kering akar dan rasio tajuk akar menunjukkan korelasi lemah terhadap skor toksisitas Fe konsentrasi 200 ppm (Tabel 12).

Hasil analisis korelasi menunjukkan bahwa skor gejala toksisitas Fe konsentrasi 400 ppm berkorelasi negatif dengan pertumbuhan tanaman, kecuali pada peubah rasio tajuk akar berkorelasi positif. Korelasi antara skor toksisitas Fe dengan peubah jumlah anakan, jumlah akar, berat basah tajuk,

berat basah akar, berat kering akar dan rasio tajuk akar menunjukkan korelasi yang cukup kuat. Sebaliknya korelasi antara skor toksisitas Fe dengan tinggi tanaman, jumlah daun, jumlah klorofil, panjang akar dan berat kering tajuk menunjukkan korelasi yang lemah (Tabel 12).

Tabel 12. Matriks korelasi antara variabel pengamatan dengan skoring cekaman Fe konsentrasi 200 dan 400 ppm

Peubah	Nilai Korelasi (Fe 200 ppm)	Nilai Korelasi (Fe 400 ppm)
Tinggi Tanaman	-0,131	-0,127
Jumlah Daun	-0,888	-0,100
Jumlah klorofil	-0,706	-0,296
Jumlah Anakan	-0,874	-0,753
Panjang Akar	-0,429	-0,410
Jumlah Akar	-0,410	-0,726
Berat Basah Tajuk	-0,539	-0,694
Berat Basah Akar	-0,537	-0,595
Berat Kering Tajuk	-0,193	-0,267
Berat Kering Akar	-0,450	-0,724
Rasio Tajuk Akar	-0,028	0,718

Keterangan : $Sk\ Fe\ M_x =$ Skoring Fe minggu ke x

Toleransi tanaman padi terhadap cekaman Fe dapat dilihat dengan menghitung indeks toleransi cekaman pada semua peubah yang diamati. Penghitungan indeks toleransi cekaman menghasilkan padi Varietas Banyuasin dan MR1510 memiliki tingkat toleransi yang tergolong medium terhadap cekaman Fe 200 ppm, sementara pada cekaman Fe konsentrasi 400 ppm semua jenis padi yang diuji tergolong peka (Lampiran 9).

4.2. Pembahasan

4.2.1. Pengaruh jenis padi dan konsentrasi Fe terhadap pertumbuhan tanaman

Hasil penelitian menunjukkan adanya gejala toksisitas Fe terhadap pertumbuhan tanaman padi. Tanaman padi mulai menunjukkan gejala keracunan Fe pada umur 2 minggu setelah tanam (MST). Gejala keracunan Fe yang tampak adalah gejala *bronzing* pada daun. Gejala keracunan Fe yang ditimbulkan akan semakin parah seiring dengan semakin lama waktu tanaman dalam keadaan tercekam. Gejala keracunan Fe yang tampak antara lain batang

tanaman menjadi lebih pendek, berkurangnya jumlah daun, adanya bercak coklat pada daun hingga daun mati, pertumbuhan anakan dan akar terhambat (Lampiran 8). Menurut Kaderi (2015), tanaman padi lebih peka keracunan besi selama tahap-tahap awal pertumbuhan, ketika kapasitas oksidasi akarnya masih kecil. Daun akan menjadi coklat-ungu dan akan tampak mengering seperti terbakar apabila tanaman mengalami keracunan besi yang cukup parah. Pertumbuhan tanaman terhambat dan jumlah anakan berkurang. Sistem perakaran menjadi kasar, jarang dan rusak dengan lapisan coklat sampai hitam pada permukaan akar, hingga banyak akar mati.

Kelebihan penyerapan unsur hara Fe menyebabkan pertumbuhan tanaman padi terganggu. Gangguan akibat toksisitas Fe mengakibatkan tinggi tanaman menjadi terhambat. Hasil penelitian menunjukkan rata-rata tinggi tanaman padi mengalami penurunan pada perlakuan konsentrasi Fe 200 ppm dan 400 ppm bila dibandingkan dengan kontrol. Menurut Harahap (2014), semakin tinggi konsentrasi Fe dalam larutan hara menyebabkan tingkat keracunan juga semakin meningkat. Hal tersebut dapat terjadi karena pada kondisi keracunan, Fe masuk ke dalam jaringan tanaman yang mengakibatkan proses pembelahan sel terhambat, sehingga pertumbuhan tinggi tanaman terhambat. Menurut Wasiaturrohman (2008), penghambatan pertumbuhan tinggi tanaman disebabkan oleh kegagalan pembelahan mitosis sel-sel tanaman. Jenis padi MR1510 dan Aksesori Runteh Puren bersifat toleran terhadap cekaman Fe hingga 200 ppm, sedangkan padi Aksesori Radik pada konsentrasi Fe 200 ppm memiliki tinggi tanaman lebih tinggi dari pada konsentrasi Fe 0 ppm dan mampu mentoleransi cekaman Fe hingga konsentrasi 400 ppm (Tabel 4).

Gangguan lain yang disebabkan oleh toksisitas Fe yaitu penurunan jumlah daun. Hasil penelitian menunjukkan rata-rata jumlah daun pada tanaman padi mengalami penurunan pada perlakuan konsentrasi Fe 200 ppm dan 400 ppm bila dibandingkan dengan

kontrol (Tabel 5). Menurut Noor & Khairudin (2013), gejala visual khas yang terjadi akibat keracunan Fe yaitu akumulasi *polyphenol-teroksidasi* yang biasa disebut *bronzing* atau *yellowing* pada padi. Menurut Kolaka *et al.* (2015), adanya *bronzing* atau *yellowing* pada daun menyebabkan daun mengering dan kemudian mati. Peristiwa tersebut berakibat kepada penurunan jumlah daun pada tanaman padi. Jenis padi MR1510, MP2046, Varietas Banyuasin dan Aksesori Runteh Puren mampu mentoleransi cekaman Fe hingga 200 ppm, sedangkan jenis padi Aksesori Radik memiliki jumlah daun lebih banyak pada konsentrasi Fe 200 ppm daripada konsentrasi Fe 0 ppm dan mampu mentoleransi adanya cekaman Fe hingga konsentrasi 400 ppm (Tabel 5).

Gangguan akibat toksisitas Fe juga mengakibatkan penurunan jumlah klorofil pada daun. Hasil penelitian menunjukkan rata-rata jumlah klorofil pada tanaman padi mengalami penurunan pada perlakuan konsentrasi Fe 200 ppm dan 400 ppm bila dibandingkan dengan kontrol (Tabel 10). Lubis & Noor (2012) menyatakan, menurunnya jumlah klorofil tanaman disebabkan oleh adanya tekanan oksidatif yang menyebabkan terjadinya peningkatan konsentrasi Fe^{2+} pada jaringan tanaman yang dapat membatasi aktivitas fotosintesis tanaman. Menurut Kolaka *et al.* (2015), kelebihan Fe^{2+} dalam jaringan daun tumbuhan teroksidasi menjadi Fe^{3+} yang menimbulkan radikal bebas. Radikal bebas dapat merusak jaringan daun dan mengganggu proses fisiologi, juga dapat mengoksidasi klorofil yang mengakibatkan hilangnya warna klorofil. Konsentrasi radikal bebas yang tinggi mengakibatkan sel daun menjadi mati. Hal itu menyebabkan terjadinya penurunan jumlah klorofil pada daun tanaman. Rerata kombinasi perlakuan konsentrasi Fe dengan jenis padi pada peubah jumlah klorofil daun mempunyai pola yang sama, dimana semakin meningkatnya cekaman Fe maka pembentukan klorofil pada daun semakin terhambat (Gambar 1). Hal tersebut diduga karena pada tanaman padi yang mengalami cekaman Fe, luas

permukaan daunnya lebih sempit daripada tanaman yang tidak terkena cekaman Fe sehingga jumlah klorofil daunnya pun lebih sedikit. Menurut Lubis & Noor (2012), luas permukaan daun yang lebih sempit akibat cekaman Fe dapat menghambat proses fotosintesis tanaman.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk peubah jumlah anakan pada konsentrasi Fe 200 ppm tanaman masih dapat mentoleransi keberadaan Fe sementara pada konsentrasi Fe 400 ppm tanaman sudah tidak dapat mentoleransi lagi keberadaan Fe (Tabel 10). Hal ini sesuai dengan pernyataan Wasiaturohmah (2008), bahwa konsentrasi Fe tinggi dapat menghambat penyerapan unsur hara oleh akar. Translokasi hara dari media ke akar yang terhambat berakibat terhadap pertumbuhan tanaman pada bagian atas, karena tidak adanya nutrisi yang dapat menunjang pertumbuhan tanaman sehingga terbentuknya anakan terhambat. Rerata kombinasi perlakuan antara jenis padi dan konsentrasi Fe pada peubah jumlah anakan mempunyai pola yang sama yaitu pada konsentrasi Fe 200 ppm semua jenis padi kecuali Varietas Inpago 8 mengalami peningkatan pertumbuhan anakan dan pada konsentrasi Fe 400 ppm pertumbuhan anakan terhambat. Hal tersebut terjadi diduga pada konsentrasi Fe 200 ppm tanaman mampu mentoleransi keberadaan Fe bahkan sedikit menunjang pertumbuhan anakan, sementara pada konsentrasi Fe yang lebih tinggi lagi yaitu 400 ppm menyebabkan toksik pada tanaman sehingga pertumbuhan anakan menjadi terhambat. Menurut Audebert *et al.* (2006), keadaan tersebut terjadi karena besi ferro yang diserap tanaman mengakibatkan penghambatan pertumbuhan anakan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa toksisitas Fe juga dapat menghambat proses pemanjangan akar tanaman. Hal tersebut dibuktikan dengan tidak adanya tanaman yang mampu mentoleransi adanya cekaman Fe baik pada konsentrasi Fe 200 ppm maupun 400 ppm (Tabel 6). Toksisitas Fe pada peubah jumlah akar masih dapat ditoleransi keberadaannya oleh tanaman padi. Hal tersebut tampak

dari hasil penelitian (Tabel 7) yang menunjukkan bahwa jenis padi MR1510, MP2046, Akses Radik dan Akses Runteh Puren memiliki pertumbuhan akar yang baik pada konsentrasi Fe 400 ppm. Jenis padi Varietas Inpago 8 dan Banyuasin hanya mampu mentoleransi cekaman Fe hingga konsentrasi 200 ppm. Hal ini terjadi karena kandungan unsur-unsur Fe yang tinggi akan membuat unsur Mn menghambat pertumbuhan akar dan translokasi P dan Ca ke bagian akar tanaman (Wasiaturrohmah 2008). Banyaknya akar yang rapuh, rusak dan mati akibat adanya cekaman Fe menyebabkan terjadinya penurunan panjang akar. Jenis padi MR1510, MP2046, Akses Radik dan Akses Runteh Puren melakukan adaptasi morfologi terhadap kelebihan besi dengan memperbanyak jumlah helai akar bukan dengan pemanjangan akar sehingga jumlah akar pada tanaman padi tersebut lebih banyak pada konsentrasi Fe 200 ppm. Menurut Suardi (2002), perakaran padi tumbuh sedikit kompak dalam keadaan normal dan penyebaran akar horizontal lebih dominan daripada yang tegak lurus ke dalam tanah.

Hasil penelitian menunjukkan semakin tinggi konsentrasi Fe menyebabkan semakin menurunnya berat basah tajuk, berat basah akar, berat kering tajuk, berat kering akar dan rasio tajuk akar tanaman. Hal tersebut diduga karena konsentrasi Fe yang tinggi menghambat penyerapan air dan hara oleh akar, sehingga berpengaruh terhadap berat tajuk, berat akar serta rasio tajuk akar. Wasiaturrohmah (2008) menyatakan, konsentrasi Fe tinggi dapat menghambat penyerapan unsur hara oleh akar yang berakibat terhadap terhambatnya pertumbuhan tanaman pada bagian atas. Pertumbuhan tajuk yang terhambat berakibat terhadap berat tajuk tanaman yang rendah. Menurut Mehraban (2008), tingginya persentase penurunan berat kering akar akibat toksisitas besi berhubungan erat dengan tingginya akumulasi Fe^{2+} pada tanaman yang dapat menurunkan pertumbuhan tanaman. Hal itu dapat terjadi diduga karena konsentrasi Fe yang tinggi menghalangi translokasi hara dari media ke akar.

Semua jenis padi memiliki pola yang sama terhadap konsentrasi Fe, yaitu semakin tinggi konsentrasi Fe maka berat basah tajuk semakin menurun kecuali pada padi Aksesori Radik yang mengalami kenaikan berat basah tajuk pada konsentrasi Fe 200 ppm (Gambar 3). Begitu pula pada peubah berat basah akar, semua jenis padi mengalami penurunan berat basah akar seiring bertambahnya konsentrasi cekaman Fe, kecuali pada jenis padi MP2046 dan Varietas Inpago 8 yang mengalami kenaikan berat basah akar pada konsentrasi Fe 400 ppm (Gambar 4). Padi Varietas Banyuasin dan Aksesori Radik mampu mentoleransi cekaman Fe hingga 400 ppm sementara padi MR1510 hanya mampu mentoleransi cekaman Fe hingga 200 ppm pada peubah berat kering tajuk (Tabel 8). Padi MR1510, Varietas Banyuasin dan Aksesori Radik mampu mentoleransi cekaman Fe hingga konsentrasi 400 ppm pada peubah berat kering akar (Tabel 9). Menurut Arzie (2011), penurunan jumlah air dalam tanaman menyebabkan turgor sel penutup stomata menurun yang mengakibatkan terpotongnya suplai CO₂ ke sel-sel mesofil dan mengakibatkan proses fotosintesis terhambat sehingga jumlah asimilat yang dihasilkan oleh tanaman semakin berkurang. Hal inilah yang menyebabkan berat tajuk dan akar menjadi menurun yang berpengaruh pula terhadap rasio tajuk yang dihasilkan. Effendi *et al.* (2015) menyatakan, laju fotosintesis pada tanaman menurun hingga 40% setelah diberikan cekaman Fe²⁺ berlebih yang mengakibatkan peningkatan kandungan Fe²⁺ daun, sehingga menyebabkan penurunan kandungan pati daun hingga 25%. Penurunan kandungan pati pada jaringan daun akan mempengaruhi berat kering tanaman.

4.2.2. Hubungan korelasi antara skor toksisitas Fe dengan peubah pertumbuhan tanaman padi

Hubungan korelasi antara skor toksisitas Fe dengan peubah pertumbuhan tanaman padi berkorelasi negatif. Korelasi antara skor toksisitas Fe dengan peubah jumlah daun, jumlah klorofil, jumlah anakan, berat basah tajuk dan berat basah akar menunjukkan korelasi

yang cukup kuat. Sedangkan pada peubah tinggi tanaman, panjang akar, jumlah akar, berat kering tajuk, berat kering akar dan rasio tajuk akar menunjukkan korelasi lemah terhadap skor toksisitas Fe konsentrasi 200 ppm. Korelasi antara skor toksisitas Fe dengan peubah jumlah anakan, jumlah akar, berat basah tajuk, berat basah akar, berat kering akar dan rasio tajuk akar menunjukkan korelasi yang cukup kuat. Sebaliknya korelasi antara skor toksisitas Fe dengan tinggi tanaman, jumlah daun, jumlah klorofil, panjang akar dan berat kering tajuk menunjukkan korelasi yang lemah (Tabel 12).

Korelasi negatif antara skor toksisitas dan peubah pertumbuhan tanaman menunjukkan bahwa pada toksisitas Fe tinggi, pertumbuhan tanaman menjadi terhambat. Noor *et. al* (2012) mengatakan bahwa, hasil analisis korelasi menunjukkan semakin tinggi skor gejala toksisitas Fe ataupun kadar Fe tanaman maka pertumbuhan tanaman semakin terhambat. Semakin tinggi kadar Fe dalam larutan media maka gejala toksisitas Fe dan kadar Fe pada tanaman juga semakin meningkat. Toksisitas Fe pada tanaman menyebabkan terhambatnya pertumbuhan tanaman padi. Mehraban *et al.* (2008) menyatakan, semakin tinggi konsentrasi Fe dalam larutan semakin tinggi kemungkinan keracunan besi pada tanaman dan bahwa skor gejala toksisitas Fe maupun kadar Fe dalam tanaman berkorelasi negatif dengan pertumbuhan padi.

Pengamatan skor toksisitas Fe terhadap perlakuan jenis padi dan konsentrasi Fe pada minggu ke-4 menunjukkan bahwa padi Varietas Banyuasin dan Aksesori Runteh Puren konsentrasi Fe 200 ppm memiliki tingkat cekaman yang ringan dan dikategorikan toleran terhadap cekaman Fe. Padi MR1510, MP2046, Varietas Inpago 8, Aksesori Radik konsentrasi Fe 200 ppm dan MR1510, Varietas Inpago 8, Varietas Banyuasin, serta Aksesori Runteh Puren konsentrasi Fe 400 ppm memiliki tingkat cekaman yang sedang dan dikategorikan tingkat toleransi sedang terhadap cekaman Fe. Padi MP2046 dan Aksesori Radik konsentrasi Fe 400 ppm memiliki tingkat cekaman agak berat

dan dikategorikan peka terhadap cekaman Fe (Lampiran 8). Noor *et al.* (2012) mengemukakan batas kritis kadar Fe dalam tanaman padi sawah yang menyebabkan keracunan besi antara 200-600 ppm. Azzuriah (2015) menyebutkan batas kritis kadar Fe dalam tanaman padi mutan beras merah yang menyebabkan keracunan besi antara 300-450 ppm. Hasil penelitian Nozoe *et al.* (2008) batas kritis keracunan besi padi hibrida toleran Fe pada kisaran yang lebih tinggi lagi yaitu antara 500-2000 ppm.

4.2.3. Indeks kepekaan terhadap cekaman

Toleransi tanaman padi terhadap cekaman Fe selain dilihat berdasarkan hubungan skor toksisitas Fe dengan peubah tanaman, dapat dilihat juga dengan menghitung indeks toleransi cekaman terhadap peubah tanaman yang diamati. Hasil penelitian terhadap padi gogo diperoleh kelompok jenis padi toleran, medium dan peka pada konsentrasi Fe 200 dan 400 ppm. Adanya perbedaan kelompok tersebut disebabkan karena perbedaan kemampuan masing-masing jenis tanaman dalam mentoleransi cekaman Fe.

Jenis padi Varietas Banyuasin dan Aksesori Radik konsentrasi Fe 200 ppm termasuk kategori toleran. Jenis padi MR1510 dan Aksesori Radik konsentrasi Fe 200 ppm, serta Varietas Banyuasin konsentrasi Fe 400 ppm termasuk kategori medium. Jenis padi MP2046, Varietas Inpago 8 dan Aksesori Runteh Puren konsentrasi Fe 200 ppm serta MR1510, MP2046, Varietas Inpago 8 dan Aksesori Runteh Puren konsentrasi Fe 400 ppm termasuk kategori peka (Lampiran 9). Menurut Effendi *et al.* (2015), mekanisme tanaman dalam resistensi terhadap toksisitas Fe yaitu adanya pembentukan lapisan besi pada permukaan akar atau biasa disebut dengan *iron plaque*. Oksigen yang tidak digunakan pada proses respirasi dibebaskan oleh tanaman menuju rizosfer sehingga menyebabkan oksidasi Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} membentuk lapisan besi pada permukaan akar yang diasumsikan dapat menurunkan masuknya besi ke dalam jaringan tanaman.

4.2.4. Toleransi tanaman padi terhadap cekaman Fe

Perbedaan jenis padi yang digunakan pada penelitian menimbulkan respon yang bervariasi terhadap distribusi Fe pada tiap organ tanaman. Hal ini menunjukkan adanya perbedaan mekanisme yang lebih spesifik pada masing-masing varietas secara fisiologi. Menurut Harahap (2014), pada varietas padi yang toleran terhadap besi lebih banyak menimbun Fe di batang dan lebih sedikit di daun dibandingkan dengan varietas yang peka. Menurut Audebert (2006), varietas yang peka tidak mempunyai mekanisme penghambat (*barrier*) terhadap ion Fe^{2+} diantara organ yang berbeda dan kandungan Fe tinggi dalam semua organ tanaman, karena varietas yang sensitif tidak mempunyai selektivitas pada organ tanamannya.

Hasil penelitian menunjukkan dari enam jenis padi yang diujikan menghasilkan padi Varietas Banyuasin dan MR1510 memiliki tingkat toleransi yang tergolong medium terhadap cekaman Fe 200 ppm, sementara pada cekaman Fe konsentrasi 400 ppm semua jenis padi yang diuji tergolong peka (Lampiran 9). Penentuan kategori toleran, medium dan peka dilakukan dengan melihat hubungan antara hasil pengamatan lapangan dengan hasil uji korelasi terhadap skor toksisitas Fe serta uji skor indeks toleran cekaman.

Kemampuan tanaman dalam mentoleransi adanya cekaman tergantung genetik dan respon tanaman itu sendiri dalam menghadapi kondisi lingkungan yang tercekam. Menurut Amnal (2009), terdapat empat mekanisme toleransi tanaman padi terhadap kelebihan besi yaitu oksidasi besi pada permukaan akar, pengeluaran besi dari sel akar, penyimpanan besi pada jaringan akar dan toleransi jaringan daun terhadap kelebihan besi. Hasil penelitian Nugraha (2016), pencarian menggunakan genom browser, marka SNPs teridentifikasi sebagai kandidat gen, yang diantaranya berhubungan dengan karakter toleransi keracunan besi, yaitu TBGI380435 berhubungan dengan *heavy metal transport detoxification (HTDT)* dan TBGU313277 berhubungan dengan *proline transporter*.