

Keragaman Genetik-Fenotipik dan Hubungan antara Karakter Anatomi-Morfologi-Fisiologi dengan Produksi Bahan Kering Rumput Pakan Hasil Poliploidisasi dalam Kondisi Tercekam Aluminium

(Genetic-Phenotypic Variability and Correlation between Morphology-Anatomy-Physiology Characteristics and Dry Matter Yield of Polyploidized Forage Grasses under Aluminum Stressed Condition)

Syaiful Anwar

*Fakultas Peternakan Universitas Diponegoro, Semarang
e-mail: syaifulanwar@telkom.net*

ABSTRACT: The study was conducted with the aim to know the genetic-phenotypic variability (heritability value), and correlation between morphology-anatomy-physiology characters and dry matter yield (DMY) of polyploidized forage grasses under aluminum (Al) stressed condition. A total of 16 forage grass genotypes (polyploid and diploid *Brachiaria brizantha*, *Brachiaria decumbens*, *Setaria sphacelata*, *Setaria splendida*, *Panicum muticum*, *Panicum maximum*, *Pennisetum purpureum*, and *Pennisetum purpupoides*) were subjected to Al-stressed (16 mM $Al_2(SO_4)_3$). The treatments were allotted to a Randomized Completely Block Design with monofactorial pattern (genotypes) and 5 blocks in each treatment. The morphology-anatomy-physiology characteristics evaluated were plant height, leaf number, tiller number, leaf color, chlorophyll content, stomata number, chloroplast number, leaf nitrate reductase activity, dry matter, wet matter yield, dry matter yield, stress tolerance index and pH media. Results showed the polyploidization increased stress tolerance index of grasses. The genetic-phenotypic variability (heritability value) estimates for all morphology-anatomy-physiology characteristics were high. Most morphology-anatomy-physiology characteristics, except leaf number, chlorophyll content and chloroplast number, had significant correlation to dry matter yield. In conclusion, evaluation on selection progress of dry matter yield of forage grasses can be effectively done by selection for yield of wet matter, plant height, leaf color, branch number, stomata number, leaf nitrate reductase activity, pH media, and dry matter simultaneously.

Key Words: Selection, genetic-phenotypic variability, forage grass, aluminum stress

Pendahuluan

Seleksi untuk suatu karakter yang diinginkan akan jauh lebih berarti jika karakter tersebut mudah diwariskan. Mudah tidaknya pewarisan suatu karakter dapat diketahui dari besarnya nilai angka pewarisan (h^2) yang dapat diduga dengan membandingkan besarnya ragam genetik terhadap ragam fenotipik dari karakter tersebut (Borojevic, 1990). Jadi angka pewarisan merupakan gambaran dari besarnya kontribusi genetik suatu karakter yang akan diwariskan. Ragam genetik yang luas dengan nilai angka pewarisan yang tinggi merupakan salah satu syarat efektifnya program seleksi. Sedangkan penentuan karakter penciri khusus yang berkontribusi nyata terhadap tujuan seleksi adalah sebagai langkah efisiensi suatu kegiatan seleksi. Oleh karena itu, evaluasi kemajuan seleksi sebagai gambaran efektivitas dan efisiensi dari pelaksanaan kegiatan seleksi dalam pemuliaan tanaman sangat perlu dilakukan.

Perbaikan ke arah peningkatan dari: (1) sifat toleransi tanaman terhadap lingkungan, (2) efisiensi input produksi, (3) produktivitas dan (4) kualitas hasil; merupakan arah dan sasaran pengembangbiakan tanaman rumput pakan di Indonesia (Anwar, 1994). Seleksi berdasarkan karakter penciri khusus anatomi, morfologi dan fisiologi tanaman serta manipulasi genetik tanaman rumput pakan melalui teknik poliploidisasi telah dilakukan terhadap sejumlah rumput pakan, dalam rangka untuk mendapatkan tanaman yang berkualitas dengan produksi hijauan yang tinggi serta toleran terhadap kondisi agroekologi wilayah yang bersifat masam dengan kelarutan aluminium tinggi (Anwar, 2003; Anwar *et al.*, 2003; Anwar, 2006).

Beberapa karakter penciri morfologi-anatomi-fisiologi toleransi tanaman terhadap aluminium (Al) dan terkait dengan produktivitas menunjukkan bahwa sifat tanaman yang lebih toleran terhadap cekaman aluminium (Al) mampu: (1) mereduksi pertumbuhan akar (Marschner, 1991; Sopandie *et al.*, 1995; Anwar

et al., 2003), (2) mencegah penurunan serapan unsur hara (Kasai *et al.*, 1993, 1995; Kinraide *et al.*, 1994; Sasaki *et al.*, 1995; Huang *et al.*, 1996; Larsen *et al.*, 1998; Maathuis *et al.*, 1998), (3) mencegah perubahan struktur tanaman (Harjadi dan Yahya, 1988); (4) mengakumulasi Al lebih sedikit sehingga toksisitas Al relatif kecil (Sasaki *et al.*, 1994; Delhaize dan Ryan, 1995; Lazof *et al.*, 1994; Sopandie *et al.*, 1995); (5) menginduksi pH risosfir lebih tinggi mendekati pH optimal untuk pertumbuhan tanaman (Miyasaka *et al.*, 1989; Anwar, 2005; Degenhard, 1998); (6) mensintesis senyawa-senyawa asam dikarboksilat seperti malat, oksalat, sitrat, dan fulfat serta senyawa fenil propanoat seperti kafeat, sebagai pengkelat Al sehingga toksisitasnya menjadi rendah (Ryan *et al.*, 1995 a,b; Sopandie *et al.*, 1995; Ma dan Miyasaka, 1998; dan Ma *et al.*, 1998); (7) meningkatkan aktivitas pompa proton H^+ -ATPase, yang mengatur keseimbangan ion proton antara di dalam dan di luar plasma membran sel, sehingga terjadi depolarisasi di plasma membran dan secara berantai mempengaruhi aktivitas metabolisme turunannya seperti aktivitas K-channel dan Ca-transporter yang masing-masing berperan di dalam proses detoksifikasi Al (Kasai *et al.*, 1993, 1995; Kinraide *et al.*, 1994; Sasaki *et al.*, 1995; Huang *et al.*, 1996; Larsen *et al.*, 1998; Maathuis, 1998); (8) mensintesis protein spesifik pada membran (Basu *et al.*, 1994) dan protein tertentu dari ujung akar (Marzuki, 1997), yang tidak ditemukan pada genotipe peka; serta (9) meningkatkan aktivitas enzim tertentu seperti reduktase nitrat (Sopandie *et al.*, 1995; Anwar, 2005).

Karakter penciri yang akan dijadikan dasar dalam seleksi harus memenuhi kriteria mempunyai hubungan yang erat, baik secara langsung atau tidak langsung, dengan hasil. Oleh karena itu, seleksi tanaman terhadap karakter produktivitas (hasil) sebaiknya dilakukan pada karakter penciri yang khusus seperti: (1) respon morfologi, (2) respon anatomi, (3) respon fisiologi atau biokimia dan (4) respon hormonal (Levitt, 1980; Hale dan Orcutt, 1987; Blum, 1988; Fernandez, 1992). Berdasarkan hal tersebut maka penelitian ini bertujuan untuk mengkaji nilai angka pewarisan, variabilitas genetik dan fenotipik, serta hubungan antara karakter morfologi-fisiologi dengan produksi bahan kering (PBK) tanaman rumput pakan dalam kondisi tercekam aluminium. Kontribusi penelitian ini adalah dapat memberikan gambaran tentang efektivitas dan efisiensi dari pelaksanaan kegiatan seleksi produktivitas dalam pemuliaan tanaman rumput pakan.

Metode Penelitian

Bibit pols/stek dari 16 rumput pakan (*Brachiaria brizantha* poliploid, *Brachiaria brizantha* diploid, *Brachiaria decumbens* polyploid, *Brachiaria decumbens* diploid, *Setaria sphacelata* polyploid, *Setaria sphacelata* diploid, *Setaria splendida* polyploid, *Setaria splendida* diploid, *Panicum muticum* polyploid, *Panicum muticum* diploid, *Panicum maximum* polyploid, *Panicum maximum* diploid, *Pennisetum purpureum* polyploid, *Pennisetum purpureum* diploid, *Pennisetum purpureoides* polyploid dan *Pennisetum purpureoides* diploid) ditumbuhkan dalam pot plastik berkapasitas 10 kg dengan perbandingan media tanah:pupuk kandang 3:1. Setelah berumur 4 minggu, dilakukan pemotongan paksa untuk penyeragaman. Selanjutnya, diberikan pupuk dasar untuk pertumbuhan dengan dosis 150 kg N/ha, 150 kg P_2O_5 /ha dan 150 kg K_2O /ha. Seminggu setelah potong paksa, tanaman dikondisikan dalam cekaman aluminium (16 mM $Al_2(SO_4)_3$) melalui penyiraman tiap dua hari sekali sesuai kondisi kapasitas lapang media tanam. Percobaan disusun dalam rancangan acak kelompok dengan 5 ulangan sebagai kelompok. Pada minggu keenam dilakukan pengamatan terhadap tinggi tanaman (TT), jumlah daun (JD), jumlah anakan (JA), warna daun (WD), kadar klorofil (KK), jumlah stomata (JS), jumlah kloroplas (JK), aktivitas nitrat reduktase (ANR) daun mengacu pada prosedur Guerrero (1982), produksi bahan segar (PBS) hijauan, kadar bahan kering (BK) hijauan, produksi bahan kering (PBK) hijauan sebagai hasil kali dari % BK dengan PBS hijauan, indeks derajat toleransi (IDT) tanaman ditentukan dengan rumus Fernandez (1992) dan perubahan pH media tanam ke arah basa.

Setelah sebaran data diuji normalitasnya dengan uji Liliforrs (Conover, 1980), dilakukan analisis ragam sebagaimana pada Tabel 1 (Steel dan Torrie, 1995). Tabel 1 dapat diestimasi nilai-nilai ragam genetik (σ_g^2) dan fenotipik (σ_p^2) suatu karakter dengan memanipulasi nilai-nilai kuadrat tengah harapan (KTH). Dalam hal ini nilai $\sigma_g^2 = (KT_R - KT_e)/k$ dan $\sigma_p^2 = \sigma_K^2 + \sigma_R^2 + \sigma_e^2$. Untuk menentukan kriteria ragam, digunakan ketentuan dari Anderson dan Bancroft (1952) yang dikutip oleh Pinaria *et al.* (1995), yaitu ragam luas jika nilai ragam > dua kali standar deviasi, dan ragam sempit jika ragam \leq dua kali standar deviasi. Angka pewarisan dalam arti luas (h^2) diduga dengan menggunakan analisis ragam (Allard, 1960; Borojevic, 1990), yaitu sebagai berikut: $h^2 = \sigma_g^2 / \sigma_p^2$. Nilai duga

Tabel 1. Analisis ragam rancangan acak kelompok satu faktor

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Kuadrat Tengah (KT)	Kuadrat Tengah Harapan (KTH)	F Hitung
Kelompok (K)	$K-1 = 4-1 = 3$	KT_K	$\sigma_e^2 + r\sigma_K^2$	KT_K / KT_e
Rumput (R)	$R-1 = 16-1 = 15$	KT_R	$\sigma_e^2 + k\sigma_R^2$	KT_R / KT_e
Galat (E)	$(R-1)(K-1)=15 \times 3=45$	KT_e	σ_e^2	
Total	$RGn-1=(16 \times 4)-1=63$			

Hasil analisis Persamaan Regresi Berganda secara serempak :

$$Y = 17,307130 + 0,408262 X_1^{**} - 0,117539 X_2^{ns} + 0,838517 X_3^* + 6,346875 X_4^* \\ + 1,242373 X_5^{ns} - 5,5833547 X_6^* + 2,861002 X_7^{ns} - 2,953395 X_8^* \\ + 1,058694 X_9^* - 2,617544 X_{10}^* + 0,044767 X_{11}^{**} \quad (r = 0,7577^{**})$$

Keterangan: Y = PBK hijauan (g);
 X_1 = tinggi tanaman (cm);
 X_2 = jumlah daun (helai);
 X_3 = jumlah anakan (bh);
 X_4 = warna daun (skor 0-8);
 X_5 = kadar klorofil (mg/g daun);
 X_6 = jumlah stomata (bh/100 μ m²);
 X_7 = jumlah kloroplas (bh/stomata);

X_8 = ANR daun ((μ g NO₂-/jam/g daun);
 X_9 = BK hijauan (%);
 X_{10} = perubahan pH media (ke arah basa);
 X_{11} = PBS hijauan (g);
 r = koefisien korelasi;
 ** = nyata taraf 1%;
 * = nyata taraf 5%;
 ns = tidak nyata taraf 5%;

angka pewarisan diklasifikasikan menurut Stanfield (1988), yaitu tinggi jika $h^2 > 50\%$, sedang jika $20\% \leq h^2 \leq 50\%$, dan rendah jika $h^2 < 20\%$. Derajat keeratan hubungan antar karakter diestimasi berdasarkan rumus Singh dan Chaudhary (1979).

Hasil dan Pembahasan

Data hasil indeks derajat toleransi (IDT) tanaman terhadap cekaman aluminium tertera pada Tabel 2.

Sedangkan nilai-nilai angka pewarisan, ragam fenotipik dan genetik serta kriterianya terdapat pada Tabel 3. Nilai-nilai korelasi antar karakter penciri morfologi-anatomi-fisiologi yang diamati tercantum pada Tabel 4 dan 5.

Skor Indeks derajat toleransi tanaman diketahui meningkat pada semua jenis rumput poliploid dibandingkan rumput diploidnya (Tabel 2). Hal ini menunjukkan bahwa poliploidisasi pada rumput pakan menyebabkan adanya penambahan alel pada kromosomnya, sehingga kemampuan toleransi tanaman terhadap cekaman aluminium menjadi lebih tinggi dibandingkan rumput diploidnya. Tabel 3 menunjukkan bahwa terdapat nilai ragam fenotipik dan genetik yang luas serta angka pewarisan yang tinggi untuk semua karakter morfologi-anatomi-fisiologi yang diamati. Luasnya ragam genetik dalam populasi tersebut, antara lain disebabkan oleh: (1) populasi yang dievaluasi terdiri dari genotipe-genotipe yang

berbeda, sebagian berasal dari genotipe introduksi dan hasil persilangan serta sebagian lainnya berasal dari genotipe lokal dan unggul; dan (2) nilai duga ragam genetik yang diperoleh merupakan ragam genetik total, yang belum dipisahkan dari ragam interaksi: genetik x lingkungan, genetik x musim, dan genetik x lingkungan x musim.

Berdasarkan persamaan regresi di atas dapat dijelaskan bahwa tinggi tanaman (X_1), jumlah anakan (X_3), warna daun (X_4), jumlah stomata (X_6), ANR daun (X_8), kadar BK hijauan (X_9), perubahan pH media ke arah basa (X_{10}), dan PBS hijauan (X_{11}) berperan secara signifikan terhadap produktivitas hijauan rumput pakan (PBK hijauan) dalam kondisi tercekam aluminium.

Penentuan karakter yang berkontribusi nyata terbesar sampai terkecil berturut-turut (diukur dari nilai koefisien determinasi= r^2) adalah karakter PBS hijauan ($r^2=0,86$), tinggi tanaman ($r^2=0,53$), warna daun ($r^2=0,15$), jumlah anakan ($r^2=0,14$), jumlah stomata ($r^2=0,14$), aktivitas nitrat reduktase daun ($r^2=0,10$), perubahan pH media ke arah basa ($r^2=0,06$), dan kadar BK hijauan ($r^2=0,05$) (Tabel 4).

Berdasarkan kriteria korelasi dan determinasi tersebut serta dengan mempertimbangkan nilai-nilai ragam genetik dan fenotipik yang luas dengan angka pewarisan yang tinggi, maka karakter PBS hijauan, tinggi tanaman, warna daun, jumlah anakan, jumlah stomata, aktivitas nitrat reduktase daun, perubahan pH media ke arah basa, dan kadar BK hijauan dapat

dijadikan karakter penciri utama seleksi produktivitas tanaman rumput pakan dalam kondisi tercekam aluminium.

Hasil ini didukung oleh penelitian serupa tentang morfologi-anatomi-fisiologi toleransi tanaman terhadap Al, yang menunjukkan bahwa sifat tanaman yang lebih toleran terhadap cekaman Al mampu: (1) mereduksi pertumbuhan akar (Sopandie *et al.*, 1995;

Anwar *et al.*, 2003), (2) mencegah penurunan serapan unsur hara (Kasai *et al.*, 1993, 1995; Kinraide *et al.*, 1994; Sasaki *et al.*, 1995; Huang *et al.*, 1996; Larsen *et al.*, 1998; Maathuis *et al.*, 1998), (3) mencegah perubahan struktur tanaman (Harjadi dan Yahya, 1988); dan (4) meningkatkan aktivitas enzim tertentu seperti nitrat reduktase (Soepandi *et al.*, 1995; Anwar, 2005).

Tabel 2. Nilai indek derajat toleransi (IDT) tanaman rumput pakan berdasarkan karakter penciri morofologi-anatomi-fisiologi

No.	Rumput	IDT	Keterangan*
1.	<i>Brachiaria brizantha</i> poliploid	5,00	Sangat Toleran
2.	<i>Brachiaria brizantha</i> diploid	4,18	Toleran
3.	<i>Brachiaria decumbens</i> poliploid	4,88	Sangat Toleran
4.	<i>Brachiaria decumbens</i> diploid	4,51	Sangat Toleran
5.	<i>Setaria sphacelata</i> poliploid	3,69	Toleran
6.	<i>Setaria sphacelata</i> diploid	3,49	Moderat
7.	<i>Setaria splendida</i> poliploid	3,96	Toleran
8.	<i>Setaria splendida</i> diploid	3,26	Moderat
9.	<i>Panicum muticum</i> poliploid	3,97	Toleran
10.	<i>Panicum muticum</i> diploid	3,12	Moderat
11.	<i>Panicum maximum</i> poliploid	4,01	Toleran
12.	<i>Panicum maximum</i> diploid	3,12	Moderat
13.	<i>Pennisetum purpureum</i> poliploid	4,26	Toleran
14.	<i>Pennisetum purpureum</i> diploid	3,84	Toleran
15.	<i>Pennisetum purpupoides</i> poliploid	4,00	Toleran
16.	<i>Pennisetum purpupoides</i> diploid	3,83	Toleran

* Sangat Toleran $\geq 4,51-5,00$; Toleran = 3,51-4,50; Moderat = 2,51-3,50; Peka = 1,51-2,50
Sangat Peka $\leq 0,00-1,51$.

Tabel 3. Keragaman fenotipik dan genetik serta angka pewarisan beberapa karakter produksi dan komponen produksi tanaman rumput pakan hasil poliploidisasi dalam kondisi tercekam aluminium

Karakter	Keragaman Genetik		Keragaman Fenotipik		Angka Pewarisan	
	$(\sigma^2_g \pm \sigma\sigma^2_g)$	Kriteria	$(\sigma^2_p \pm \sigma\sigma^2_p)$	Kriteria	h^2	Kriteria
Tinggi Tanaman (cm)	1752,08 \pm 150,24	Luas	1822,77 \pm 288,20	Luas	0,96	Tinggi
Jumlah Daun (helai)	675,74 \pm 57,94	Luas	699,39 \pm 110,58	Luas	0,97	Tinggi
Jumlah Anakan (bh)	13,01 \pm 1,12	Luas	13,62 \pm 2,15	Luas	0,96	Tinggi
Warna Daun (skor 0-8)	0,72 \pm 0,06	Luas	0,73 \pm 0,12	Luas	0,98	Tinggi
Klorofil (mg/g daun)	1,12 \pm 0,10	Luas	1,29 \pm 0,20	Luas	0,87	Tinggi
Jumlah Stomata (bh/100 μ m ²)	10,44 \pm 0,89	Luas	10,83 \pm 1,71	Luas	0,96	Tinggi
Jumlah Kloroplas (bh/stomata)	1,03 \pm 0,09	Luas	1,20 \pm 0,19	Luas	0,86	Tinggi
ANR (μ g NO ₂ ⁻ /jam/g daun)	0,11 \pm 0,01	Luas	0,12 \pm 0,02	Luas	0,95	Tinggi
BK (%)	46,17 \pm 3,96	Luas	46,44 \pm 7,34	Luas	0,99	Tinggi
Perubahan pH Media (ke arah Basa)	0,01 \pm 0,00	Luas	0,02 \pm 0,00	Luas	0,68	Tinggi
IDT (skor 0-5)	0,32 \pm 0,03	Luas	0,33 \pm 0,05	Luas	0,99	Tinggi
PBS (g)	51159,65 \pm 4386,90	Luas	97595,78 \pm 15431,25	Luas	0,52	Tinggi
PBK (g)	105,63 \pm 9,06	Luas	197,85 \pm 31,28	Luas	0,53	Tinggi

Tabel 4. Hubungan antara karakter komponen produksi dengan produksi bahan kering hijauan pakan rumput hasil poliploidisasi

Karakter Pertumbuhan-Produksi	Rataan	Koefisien Regresi	Koefisien Korelasi (r)	Koefisien Determinasi (r ²)
1. Tinggi Tanaman (cm)	123,42±7,71	0,41**	0,73**	0,53**
2. Jumlah Daun (helai)	65,72±4,93	-0,12 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	0,01 ^{ns}
3. Jumlah Anakan (bh)	7,70±0,80	0,84 *	0,37 *	0,14 *
4. Warna Daun (skor 0-8)	5,60±0,13	6,35 *	0,38 *	0,15 *
5. Klorofil (mg/g daun)	5,73±0,41	1,24 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,00 ^{ns}
6. Jumlah Stomata (bh/100µm ²)	9,97±0,63	-5,58 *	-0,37 *	0,14 *
7. Jumlah Kloroplas (bh/stomata)	5,93±0,42	2,86 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,04 ^{ns}
8. ANR (µg NO ₂ /jam/g daun)	1,01±0,058	-2,95 *	-0,32 *	0,10 *
9. BK (%)	22,90±0,53	1,06 *	0,23 *	0,05 *
10. Perubahan pH Media (ke arah basa)	0,27±0,08	-2,62 *	-0,24 *	0,06 *
11. IDT (skor 0-5)	3,95±0,55	0,05**	0,93**	0,86**

* = nyata pada taraf 5%; ** = nyata pada taraf 1%; ns = tidak nyata pada taraf 5%.

Tabel 5. Hubungan antar sebelas karakter pertumbuhan-produksi yang teramati pada tanaman rumput pakan

Karakter	Koefisien Korelasi (r)					
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆
X ₁ = Tinggi Tanaman (cm)	-	-0,53**	-0,70**	-0,34**	0,08 ^{ns}	0,40**
X ₂ = Jumlah Daun (helai)		-	0,90**	0,22 ^{ns}	0,36**	-0,70**
X ₃ = Jumlah Anakan (bh)			-	0,52 ^{ns}	0,40 ^{ns}	-0,45**
X ₄ = Warna Daun (skor 0-8)				-	0,63**	0,46**
X ₅ = Kadar Klorofil (mg/g daun)					-	0,24 ^{ns}
X ₆ = Jumlah Stomata (bh/100µm ²)						-
X ₇ = Jumlah Kloroplas (bh/stomata)						
X ₈ = ANR (µg NO ₂ /jam/g daun)						
X ₉ = BK (%)						
X ₁₀ = Perubahan pH Media (ke arah basa)						
X ₁₁ = PBS (g)						

Karakter	Koefisien Korelasi (r)				
	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁
X ₁ = Tinggi Tanaman (cm)	0,55**	0,07 ^{ns}	0,10 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	0,80**
X ₂ = Jumlah Daun (helai)	-0,36**	0,14 ^{ns}	-0,62**	0,22 ^{ns}	-0,35 ^{ns}
X ₃ = Jumlah Anakan (bh)	-0,25 *	0,34**	-0,35**	0,47**	-0,51**
X ₄ = Warna Daun (skor 0-8)	0,28**	0,63**	0,51**	0,66**	-0,20 ^{ns}
X ₅ = Kadar Klorofil (mg/g daun)	0,36**	0,69**	0,13 ^{ns}	0,46**	0,10 ^{ns}
X ₆ = Jumlah Stomata (bh/100µm ²)	0,65**	0,32**	0,90**	0,24 ^{ns}	0,27 *
X ₇ = Jumlah Kloroplas (bh/stomata)	-	0,61**	0,34**	0,31 *	0,35**
X ₈ = ANR (µg NO ₂ /jam/g daun)		-	0,14 ^{ns}	0,69**	-0,02 ^{ns}
X ₉ = BK (%)			-	0,21 ^{ns}	0,13 ^{ns}
X ₁₀ = Perubahan pH Media (ke arah basa)				-	-0,16 ^{ns}
X ₁₁ = PBS (g)					-

* = nyata pada taraf 5%; ** = nyata pada taraf 1%; ns = tidak nyata pada taraf 5%

Metabolisme toleransi tanaman terhadap cekaman aluminium bukan merupakan hal yang sederhana, tetapi sangat kompleks, sehingga keberadaan karakter PBS hijauan, tinggi tanaman, warna daun, jumlah anakan, jumlah stomata, aktivitas nitrat reduktase daun, perubahan pH media ke arah basa, dan kadar BK hijauan yang mempunyai nilai ragam genetik dan fenotipik luas dengan angka pewarisan yang tinggi serta berkorelasi dan berkontribusi secara nyata terhadap produktivitas tanaman dalam kondisi tercekam aluminium, bukan merupakan karakter penciri yang berdiri sendiri, tetapi didukung oleh karakter lainnya, seperti jumlah daun, jumlah klorofil dan jumlah kloroplas daun. Selain itu, hasil analisis korelasi antar karakter Xi menunjukkan bahwa antar variabel X ($X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}$ dan X_{11} ,) tidak bebas satu sama lainnya atau ada kolinearitas antar variabel Xi, sehingga dalam proses seleksi harus dilakukan secara simultan diantara karakter penciri tersebut (Tabel 5).

Kesimpulan

Karakter-karakter tinggi tanaman, jumlah daun, jumlah anakan, warna daun, kadar klorofil, jumlah stomata, jumlah kloroplas, aktivitas nitrat reduktase daun, produksi bahan segar hijauan, kadar bahan kering hijauan, produksi bahan kering hijauan dan indek derajat toleransi tanaman serta perubahan pH media tanam ke arah basa mempunyai ragam fenotipik dan genetik yang luas dengan angka pewarisan tinggi.

Secara berturut-turut karakter produksi bahan segar hijauan, tinggi tanaman, warna daun, jumlah anakan, jumlah stomata, aktivitas nitrat reduktase daun, perubahan pH media ke arah basa, dan kadar bahan kering hijauan adalah karakter yang paling berpengaruh terhadap produktivitas hijauan rumput pakan dalam kondisi tercekam aluminium dan selalu dapat dipertimbangkan secara simultan dalam program seleksi.

Penelitian serupa perlu dilakukan di beberapa lokasi dan musim yang berbeda sehingga besarnya ragam genetik dugaan yang diperoleh dapat dipisahkan dari pengaruh ragam interaksi: genetik x lingkungan, genetik x musim, dan genetik x lingkungan x musim.

Daftar Pustaka

Allard, R.W. 1960. *Principles of Plant Breeding*. John Wiley and Son Inc., New York.

Anwar, S., 1994. Strategi Pengembangan THMT. *Media Majalah Pengembangan Ilmu-Ilmu Peternakan dan Perikanan* II: 13-20.

Anwar, S., 2003. Toleransi morfologi dan fisiologi tanaman rumput pakan terhadap cekaman aluminium. *Jurnal Pengembangan Peternakan Tropis* 28(1): 19-26.

Anwar, S., Karno, F. Kusmiyati dan Sumarsono. 2003. Pengembangan Tanaman Rumput Pakan Unggul yang Toleran terhadap Cekaman Aluminium dan Salinitas. *Laporan Hibah Bersaing X*. Dikti Depdiknas, Jakarta.

Anwar, S., 2005. Perbedaan aktivitas spesifik enzim nitrat reduktase asal tanaman rumput pakan (*Glycine max* (L.) Merrill) yang toleran dan peka terhadap cekaman aluminium. *Agromedia* 23(2): 71-80.

Anwar, S., 2006. Kemajuan seleksi toleransi tanaman rumput pakan terhadap cekaman aluminium. *Jurnal Pengembangan Peternakan Tropis* 31(2): 117-123.

Basu, A., U.Basu, and G.J. Taylor, 1994. Induction of microsomal membrane protein in root of an aluminum-resistant cultivar of *Triticum aestivum* L. under condition of aluminum stress. *Plant Physiology* 104: 1007-1013.

Blum, A., 1988. *Plant Breeding for Stress Environments*. CRC Press, Inc., Boca Raton.

Borojevic, S., 1990. *Principles and Methods of Plant Breeding*. Elsevier. New York.

Conover, W.J., 1980. *Practical Nonparametric Statistics*. 2nd ed. John Wiley and Sons, New York.

Degenhardt, J., P.B. Larsen, S.H. Howell and L.V. Kochian, 1998. Aluminium resistant in the arabidopsis mutant alr-104 is caused by an aluminium-induced increased in rhizosphere pH. *Plant Physiology* 117: 19-27.

Delhaize, E. and P.R. Ryan, 1995. Aluminum toxicity and tolerance in plants. *Plant Physiology* 107: 315-321.

Fernandez, G.C.J., 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: *Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress. Proceeding of an International Symposium*. C.G. Kuo (Ed.). Asian Vegetable Research and Development Center, Taiwan. Pp.257-270.

Guerrero, M.G., 1982. *In vitro assays of nitrate reductase activity*. In: *Techniques in bioproductivity and photosynthesis*. J. Coombs and D.O. Hall (Eds.). Pergamon Press Ltd., England. Pp:125-127.

Hale, M.G., and D.M. Orcutt, 1987. *The Physiology of Plant Under Stress*. John Wiley and Son Inc., New York.

Haryadi, S.S., dan S. Yahya, 1988. *Fisiologi Stres Lingkungan*. PAU-IPB. Bogor.

- Huang, J.W., P.M. Pellet, L.A. Papernik dan I.V. Kochian, 1996. Aluminium interaction with voltage dependent calcium transport in plasma membrane vesicle isolated from roots of aluminium-sensitive and -resistant wheat cultivars. *Plant Physiology* 110: 561-569.
- Kasai, M., M. Sasaki, S. Tanakamaru, Y. Yamamoto, and H. Matsumoto, 1993. Possible involvement of abscisic acid in increases in activities of two vacuolar H^+ -pumps in barley roots under aluminum stress. *Plant Cell Physiology* 34(8): 1335-1338.
- Kasai, M., M. Sasaki, K. Yamasita, Y. Yamamoto, and H. Matsumoto, 1995. Increased of ATP-dependent H^+ pump activity of tonoplast of barley roots by aluminum stress: Possible involvement of abscisic acid for theregulation. In : *Plant Soil Interactions at Low pH*. R.A. Date (Ed.), Kluwer Acad. Publ., Netherland. Pp.341-344.
- Kinraide, T.B., R.R. Ryan and L.V. Kochian, 1994. Al^{3+} - Ca^{+3} interaction in aluminum rhizotoxicity. II. Evaluating the Ca^{+2} displacement hypothesis. *Planta* 192: 104-109.
- Larsen, P.B., J. Degenhardt, Chin-Yin Tai, L.M. Stenzler, S.H. Howell and L.V. Kochian, 1998. Aluminium-resistant arabidopsis mutants that exhibit altered patterns of aluminium accumulation and organic acid release from roots. *Plant Physiology* 117: 9-18.
- Lazof, D.B., J.G. Goldsmith, T.W. Rufty and R.W. Linton, 1994. Rapid uptake of aluminum into cells of intact soybean root tips. *Plant Physiology* 106: 1107-1114.
- Levitt, J., 1980. *Respon of Plant to Environmental Stresses. Vol. II. Water, Radiation, Salt and Other Stress*. Academic Press, New York.
- Ma, J.F., S. Hiradate and H. Matsumoto, 1998. High aluminium resistant in buckwheat. II. Oxalic acid detoxifies aluminium internally. *Plant Physiology* 117: 753-759.
- Ma, Z., and C. Miyasaka, 1998. Oxalate exudation by taro in response to Al. *Plant Physiology* 118: 861-865.
- Maathuis, F.J.M., A.M. Ichida, D. Sanders, and J.I. Schroeder, 1998. Roles of higher plant K^+ Channels. *Plant Physiology* 114: 1141-1149.
- Marschner, H., 1991. Mechanism of adaptation of plants to acid soil. *Plant Soil* 134: 1-20.
- Miyasaka, S.C., L.V. Kochian, J.E. Shaff and C.D. Foy, 1989. Mechanism of aluminium tolerance in wheat. An investigation of genotypic differences in rhizosphere pH, K^+ , and H^+ transport, and root-cell potentials. *Plant Physiology* 91: 1188-1196.
- Pinaria, A., A. Baihaki, R. Setiamihardja dan A.A. Dradjat, 1995. Ragam Genetik dan Angka pewarisan Karakter-karakter Biomassa 53 Genotipe Rumput pakan. *Zuriat* 6(2): 88-92.
- Ryan, P.R., E. Delhaize and P.J. Randall, 1995a. Malate efflux from root apies and tolerance to aluminium are highly correlated in wheat. *Australian Journal of Plant Physiology* 22: 531-536.
- Ryan, P.R., E. Delhaize and P.J. Randall, 1995b. Characterisation of Al-stimulated efflux of malate from the apies of Al-tolerant wheat roots. *Planta* 196: 103-110.
- Sasaki M., M. Kasai, Y. Yamamoto and H. Matsumoto, 1994. Comparison of the early response to aluminum stress between tolerant and sensitive wheat cultivars: Root growth, aluminum content and efflux of K^+ . *Journal of Plant Nutrition* 17(7): 1275-1288.
- Sasaki M., M. Kasai, Y. Yamamoto and H. Matsumoto, 1995. Involvement of plasma membrane potential in the tolerance mechanism of plant roots to aluminium toxicity. In : R.A. Date (ed), *Plant Soil Interactions at Low pH*. Kluwer Acad. Publ., Netherland. Pp. 285-290.
- Singh, R.K. and B.D. Chaudhary, 1979. *Biometrical Methods in Quantitative Genetic Analysis*. Kalyani Pub. Ludhiana, New Delhi.
- Sopandie, D., M. Jusuf, Hamim dan Supiatno, 1995. Fisiologi dan genetik Daya Adaptasi Rumput pakan terhadap Cekaman Kekeringan dan pH Rendah dengan Al Tinggi. *Laporan RUT 1.2*. DRN PUSPITEK, Jakarta.
- Stansfield, W.D., 1988. *Genetics*. McGraw Hill Book Company, New York.
- Steel, R.G.D. dan J.H. Torrie, 1995. *Prinsip dan Prosedur Statistika. Suatu Pendekatan Biometrik*. Terjemahan: Bambang Sumantri. PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.