

**Pendugaan Parameter Genetik dan Seleksi  
Galur Mutan Sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) di Tanah Masam**

*Estimation of Genetic Parameters and Selection of Sorghum Mutant  
Lines under Acid Soil Stress Conditions*

Sungkono<sup>1\*</sup>, Trikoesoemaningtyas<sup>2</sup>, Desta Wirnas<sup>2</sup>, Didy Sopandie<sup>2</sup>,  
Soeranto Human<sup>3</sup> dan Muhammad Arif Yudiarto<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Sekolah Tinggi Pertanian Surya Dharma Bandar Lampung, Jl. Ki Maja No. 1 Wai Halim, Bandar Lampung, Indonesia

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

<sup>3</sup> Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jl. Lebak Bulus Raya, Box 7002 JKSKL Ps. Jumat, Jakarta Selatan, Indonesia

<sup>4</sup> Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Jl. MH Tamrin Jakarta Selatan, Indonesia

**Diterima 10 Agustus 2009/16 November 2009**

**ABSTRACT**

*Sorghum is one of high value commodities for food and energy security due to its wide adaptation. The objectives of this research were to study some genetic parameters of sorghum agronomic traits grown under acid soil conditions and to select aluminum-tolerant sorghum mutant lines. The selection was conducted in an augmented design with 61 lines at the field research station of B2TP-BPPT Lampung. Genetic materials used were mutant lines developed through gamma irradiation. The results showed that there was significant differences among the mutant lines for some agronomic characters observed. The heritability estimates for agronomic characters were classified as intermediate to high. Selection based on seed weight and biomass production resulted three best sorghum mutant lines i.e ZH30-29-07, ZH30-30-07, and ZH30-35-07. These lines showed the best yield and biomass production under acid soil condition.*

*Key words: sorghum, acid soil, heritability, selection*

**PENDAHULUAN**

Sorghum merupakan salah satu komoditi unggulan untuk meningkatkan produksi bahan pangan dan energi, karena keduanya dapat diintegrasikan proses budidayanya dalam satu dimensi waktu dan ruang. Biji sorgum menghasilkan karbohidrat yang dapat diolah menjadi bahan pangan, sedangkan nira dari batang dan juga pati pada bijinya dapat dikonversi menjadi bioetanol melalui proses fermentasi (Rajvanshi dan Nimbkar, 2001; Grassi-EUBIA, 2005; Yudiarto, 2006; Reddy dan Dar 2007; Nkongolo *et al.*, 2008).

Sorghum sangat sesuai sebagai bahan pangan karena gizinya sangat baik dan untuk beberapa komponen, seperti protein dan kalsium, lebih baik dari beras dan jagung (Direktorat Gizi Departemen Kesehatan RI, 1992). Selain itu, sorgum berpeluang untuk dikembangkan menjadi pangan premium dengan keunggulan kandungan gluten yang sangat rendah (*gluten free food*) dan indeks glikemik yang juga rendah (*low glycemic index*) sehingga sangat sesuai untuk

konsumen dengan kebutuhan gizi khusus.

Sebagai bahan baku bioenergi, sorgum memenuhi tiga syarat utama yang diperlukan untuk dapat diproduksi menjadi bahan bakar non-fosil secara massal, yaitu tidak berkompetisi dengan tanaman pangan, produktivitasnya tinggi dan biaya produksinya rendah (Medco Energi, 2007). Produktivitas bioetanol (liter/ha/tahun) dari sorgum (8.419) lebih tinggi dari tebu (6.192), jagung (3.461), gula bit (6.679), dan ubi kayu (3.835) (<http://www.globalpetroleumclub.com>).

Keunggulan sorgum yang penting dari aspek budidaya adalah daya adaptasi luas untuk kondisi kekeringan (FAO, 2002; Toure *et al.*, 2004; Borrel *et al.*, 2006; Hoeman, 2007) sehingga mempunyai keunggulan kompetitif jika dibandingkan komoditi lain untuk dikembangkan di lahan kering Indonesia.

Kendala yang dihadapi dalam budidaya sorgum di lahan kering Indonesia adalah cekaman tanah masam, karena jenis tanah ini sangat luas, yaitu mencapai 99.5 juta hektar yang tersebar di Kalimantan, Sumatera, dan Papua (Hidayat dan Mulyani, 2002). Tanah bereaksi

<sup>1\*</sup> Penulis untuk korespondensi. E-mail: sungkonostiper@yahoo.com.

masam dengan indikator utama pH tanah kurang dari 5.0 mengakibatkan kelarutan Aluminium (Al) tinggi dalam tanah sehingga menjadi racun bagi tanaman. Cekaman Al menyebabkan gangguan pertumbuhan akar sehingga penyerapan hara dan air menjadi terhambat (Marschner, 1995), dan menjadi salah satu faktor pembatas pertumbuhan dan produksi tanaman di tanah masam (Kochian, 1995; Ryan *et al.*, 1997).

Pengembangan varietas toleran tanah masam adalah salah satu alternatif untuk meningkatkan efisiensi budidaya di tanah masam. Pengembangan sorgum toleran tanah masam dengan produktivitas tinggi diawali dengan melakukan seleksi terhadap galur-galur hasil mutasi fisika yang telah dilakukan oleh Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN). Keragaman genetik dari galur tersebut diperoleh dari induksi mutasi dengan meradiasi benih sorgum dengan sinar Gamma yang bersumber dari Cobalt-60. Pembentukan galur mutan ini bertujuan untuk memperbaiki karakter agronomi dan kualitas hasil sorgum sehingga sesuai dengan kondisi agroekologi yang diinginkan (Hoeman, 2007).

Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan informasi tentang pewarisan karakter agronomi sorgum ketika ditanam di tanah masam serta melakukan seleksi terhadap galur-galur mutan yang dikembangkan oleh BATAN sehingga diperoleh beberapa galur mutan harapan yang toleran terhadap tanah masam dengan produktivitas dan kualitas tinggi.

## BAHAN DAN METODE

Percobaan dilaksanakan pada bulan April sampai Agustus 2007 di Kebun Percobaan Balai Besar Teknologi Pati (B2TP), Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), di Desa Negeri Bumi Ilir, Kecamatan Anak Tuha, Lampung Tengah. Tanah lokasi percobaan mempunyai pH 4.7 dengan tingkat kejenuhan Al 30-33%.

Materi genetik yang digunakan berupa genotipe sorgum yang terdiri dari galur mutan dan varietas. Galur mutan yang digunakan merupakan galur-galur hasil pemuliaan sorgum dengan menggunakan teknik mutasi dengan sinar Gamma yang dikembangkan oleh BATAN, sedangkan varietas yang digunakan merupakan varietas nasional dan introduksi, yaitu Kawali, Numbu, Mandau, Higari, Durra, Zhengzu, dan UPCA-S1.

Percobaan dilaksanakan dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap dan rancangan perlakuan *Augmented Design*. Perlakuan yang diberikan adalah 61 genotipe sorgum yang terdiri dari 54 galur mutan dan 7 varietas tanpa ulangan. Sebagai kontrol dalam penelitian

ini digunakan galur harapan BATAN B-76 dan B-100 yang masing-masing diulang sepuluh kali. Galur B-76 dan B-100 merupakan galur mutan sorgum dengan kandungan gula tinggi dan kualitas pati yang baik.

Pelaksanaan penelitian dimulai dengan menyiapkan lahan, yaitu lahan dibajak dan digemburkan, kemudian dibuat guludan dengan panjang 5 m, lebar 0.5 m, dan jarak antar guludan 0.5 m sebanyak 81 unit. Benih masing-masing genotipe ditanam dengan cara ditugal dengan memasukkan 3-5 butir per lubang dengan jarak tanam 15 cm. Pemupukan menggunakan pupuk Urea, SP-36, dan KCl dengan dosis masing-masing 100, 60, dan 60 kg/ha. Pupuk SP-36 dan KCl diberikan pada saat tanam, sedangkan urea diberikan dua kali, yaitu 2/3 bagian pada saat tanam dan 1/3 bagian pada saat tanaman berumur 7 (MST) minggu setelah tanam. Pemeliharaan tanaman serta pengendalian hama dan penyakit dilakukan sesuai dengan kondisi tanaman.

Pengamatan dilakukan terhadap karakter tinggi tanaman, jumlah daun, bobot biomasa, panjang malai, bobot malai, jumlah biji/malai, dan bobot biji/malai pada sepuluh tanaman contoh untuk setiap satuan percobaan. Data hasil pengamatan dianalisis dengan sidik ragam, kemudian dilanjutkan dengan pendugaan komponen ragam, nilai heritabilitas dalam arti luas, dan analisis diskriminan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilaksanakan pada akhir musim hujan yang merupakan waktu penanaman sorgum yang terbaik. Kondisi pertanaman sorgum di lapang baik dan tidak terdapat serangan hama dan penyakit yang mencapai ambang batas sehingga pertumbuhan tanaman tidak terganggu.

Hasil analisis ragam (Tabel 1) menunjukkan bahwa seluruh genotipe yang dievaluasi tidak berbeda nyata untuk karakter tinggi tanaman dan jumlah biji/malai, namun berbeda nyata untuk karakter jumlah daun dan bobot malai, serta berbeda sangat nyata untuk karakter bobot biomasa, panjang malai, dan bobot biji/malai. Dua genotipe yang digunakan sebagai kontrol untuk menduga ragam lingkungan tidak berbeda nyata untuk semua karakter yang diamati, kecuali bobot biji/malai.

Karakter bobot biomasa, panjang malai, dan bobot biji/malai adalah karakter-karakter yang menyebabkan keragaman pada populasi sorgum yang dievaluasi di tanah masam. Hal ini ditunjukkan oleh hasil analisis pengaruh genotipe yang sangat nyata pada ketiga karakter tersebut (Tabel 1).

Tabel 1. Hasil analisis ragam pengaruh genotipe terhadap karakter agronomi sorgum pada kondisi tanah masam

Karakter	KT Perlakuan	KT Kontrol	KT Genotipe	KT G x K
Tinggi tanaman	1085.08 <sup>ns</sup>	757.79 <sup>ns</sup>	1112.24 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>
Jumlah daun	2.19*	1.65 <sup>ns</sup>	1.96 <sup>ns</sup>	14.60**
Bobot biomasa	22253.91**	9.22 <sup>ns</sup>	21086.56**	105200.53**
Panjang malai	25.18**	0.19 <sup>ns</sup>	18.28**	408.88**
Bobot malai	825.15*	25.68 <sup>ns</sup>	804.34*	2707.18**
Jumlah biji/malai	387674.39 <sup>ns</sup>	17900.03 <sup>ns</sup>	402062.39 <sup>ns</sup>	9272.89 <sup>ns</sup>
Bobot biji/malai	287.51**	2014.02**	259.83**	0.21 <sup>ns</sup>

Keterangan : ns= tidak berbeda nyata; \*=berbeda nyata pada taraf 5%; \*\*=berbeda sangat nyata pada taraf 1% uji F

*Pendugaan Komponen Ragam dan Heritabilitas*

Hasil analisis ragam menunjukkan adanya keragaman di antara genotipe yang diuji, yang disebabkan oleh pengaruh genotipe, lingkungan, dan interaksinya. Nilai ragam yang diduga dari analisis ragam dapat dipartisi menjadi ragam fenotipe, ragam lingkungan dan ragam genotipe sehingga dapat diperoleh informasi tentang besarnya peran ragam genetik terhadap total keragaman yang diamati. Ketersediaan populasi tanaman yang memiliki keragaman yang tinggi sangat diperlukan dalam program pemuliaan tanaman. Informasi tentang keragaman tersebut sangat diperlukan bagi seorang pemulia dalam melakukan seleksi (Roy, 2000).

Heritabilitas merupakan proporsi ragam genetik terhadap ragam fenotipe yang dinyatakan dalam satuan persen. Heritabilitas dikelompokkan menjadi dua, yaitu heritabilitas arti luas dan heritabilitas arti sempit. Heritabilitas arti luas merupakan proporsi ragam genetik total terhadap ragam fenotipe, sedangkan heritabilitas arti sempit adalah proporsi ragam aditif terhadap ragam

fenotipe. Stanfield (1983) membagi nilai heritabilitas arti luas ke dalam 3 kelompok, yaitu rendah ( $h^2_{bs} \leq 0.2$ ), sedang ( $0.2 \leq h^2_{bs} \leq 0.5$ ), dan tinggi ( $h^2_{bs} > 0.5$ ).

Hasil pendugaan ragam fenotipe, ragam lingkungan dan ragam genetik menunjukkan bahwa pada tinggi tanaman, jumlah daun, dan jumlah biji/malai pengaruh lingkungan masih cukup besar terhadap keragaman karakter tersebut, sedangkan pada bobot biomassa, panjang malai, dan bobot biji/malai faktor genetik lebih dominan mengendalikan karakter tersebut yang ditunjukkan oleh nilai heritabilitas arti luas yang tinggi (lebih dari 90%) (Tabel 2). Terhadap hal tersebut, Roy (2000) menyatakan bahwa keberhasilan seleksi sangat ditentukan oleh adanya keragaman yang dikendalikan faktor genetik, sedangkan Ceccarelli *et al.* (2007) menyarankan agar seleksi pada lingkungan bercekaman dilakukan di lingkungan target sehingga dapat memaksimalkan ekspresi gen-gen yang mengendalikan daya hasil maupun daya adaptasi tanaman.

Tabel 2. Pendugaan nilai heritabilitas arti luas ( $h^2_{bs}$ ) untuk karakter agronomi tanaman sorgum yang dibudidayakan di tanah masam

Karakter	Ragam fenotipik	Ragam lingkungan	Ragam genetik	$h^2_{bs}$
Tinggi tanaman	1112.24	529.78	582.46	0.52
Jumlah daun	1.96	0.86	1.10	0.56
Bobot biomasa	21086.56	1616.35	19470.22	0.92
Panjang malai	18.28	0.47	17.81	0.97
Bobot malai	804.34	287.10	517.24	0.64
Jumlah biji/malai	402062.39	175497.33	226565.05	0.56
Bobot biji/malai	259.83	6.97	252.86	0.97

Keterangan :  $h^2_{bs} \leq 0.2$  (rendah),  $0.2 \leq h^2_{bs} \leq 0.5$  (sedang) dan  $h^2_{bs} > 0.5$  (tinggi).

Hasil percobaan ini selaras dengan pendapat Wang Jun-ping *et al.* (2006) yang menyatakan bahwa toleransi tanaman terhadap cekaman Al di lapang ditunjukkan oleh kemampuan tanaman mempertahankan daya hasil. Karakter bobot biomasa dan bobot biji/malai adalah karakter yang sangat menentukan toleransi tanaman di tanah masam. Bobot biomassa mewakili akumulasi

pertumbuhan dan perkembangan fase vegetatif, sedangkan bobot biji/malai mewakili fase generatif; dengan demikian, kedua karakter ini dapat digunakan sebagai kriteria seleksi galur mutan sorgum untuk peningkatan daya adaptasi dan perbaikan produktivitas di tanah masam.

*Seleksi Galur Mutan Sorgum Adaptif Tanah Masam*

Seleksi adalah salah satu tahapan untuk mendapatkan genotipe yang sesuai dengan target lingkungan produksi. Ketersediaan populasi dengan keragaman yang dikendalikan oleh faktor genetik sangat menentukan keberhasilan seleksi. Seleksi dalam penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan galur-galur mutan sorgum yang mempunyai potensi hasil tinggi dan daya adaptasi baik di tanah masam. Oleh karena itu kriteria seleksi yang digunakan adalah karakter yang menentukan potensi hasil tanaman yaitu bobot biji/malai dan daya adaptasi tanaman yaitu bobot biomasa.

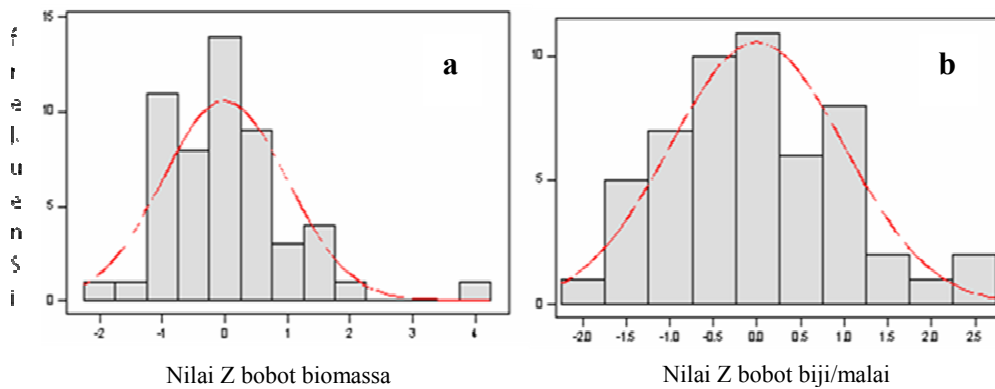
Dalam penelitian ini seleksi dilakukan langsung terhadap bobot biji/malai dan tidak langsung melalui nilai Z (nilai peubah bebas yang dibakukan) dari karakter-karakter yang telah dipilih dengan tujuan untuk meningkatkan efisiensi seleksi. Nilai rata-rata populasi dan galur terpilih berdasarkan bobot biji/malai dan diferensial seleksi masing-masing karakter terdapat pada Tabel 3. Galur-galur terpilih hasil seleksi berdasarkan bobot biji/malai memperlihatkan perbaikan pada karakter lainnya. Hal ini menunjukkan galur mutan sorgum yang mempunyai potensi hasil tinggi karena memiliki karakter komponen hasil yang juga baik.

Tabel 3. Diferensial seleksi karakter bobot biji/malai galur mutan sorgum pada kondisi tanah masam

Hasil seleksi	Rata-rata populasi (g/tanaman)	Rata-rata galur terpilih (g/tanaman)	Diferensial seleksi (%)
Bobot biji/malai	50.07	71.47	29.77
Nilai Z bobot biji/malai	50.07	71.47	29.77
Nilai Z bobot biomasa	50.07	64.70	17.45

Analisis diskriminan bobot biomasa dan bobot biji/malai menghasilkan sebaran dan frekuensi nilai Z untuk masing-masing galur (Gambar 1). Sebaran sebalur nilai Z mengelompokkan genotipe sorgum di tanah masam menjadi toleran ( $Z > \bar{X}_i + 1SD$ ), moderat ( $1SD < \bar{X}_i \leq \bar{X}_i + 1SD$ ), dan peka ( $Z < 1SD$ ).

Berdasarkan karakter bobot biomasa, maka di antara galur mutan sorgum yang diseleksi terdapat 6 galur toleran, 35 moderat dan 7 peka, sedangkan berdasarkan bobot biji/malai diperoleh 6 galur toleran, 33 moderat dan 9 peka.



Gambar 1. Sebaran nilai Z karakter bobot biomasa (a) dan bobot biji/malai (b)

Jika dibandingkan dari ketiga hasil seleksi, maka seleksi dengan bobot biji/malai secara langsung maupun dengan menggunakan nilai Z memperlihatkan nilai diferensial seleksi yang sama. Hal ini disebabkan galur yang terpilih berdasarkan bobot biji/malai dan nilai Z bobot biji/malai adalah sama. Jika dibandingkan dengan hasil seleksi berdasarkan nilai Z bobot biomasa, maka hasil seleksi berdasarkan bobot biji/malai memberikan nilai diferensial seleksi yang lebih tinggi terhadap perbaikan daya hasil galur mutan sorgum pada kondidi tanah masam (Tabel 3). Namun demikian, hasil seleksi

berdasarkan bobot biji/malai dan bobot biomasa pada percobaan ini mempunyai tujuan agronomi yang berbeda. Karakter bobot biji/malai mengarah pada perbaikan produktivitas biji, sedangkan karakter bobot biomasa mengarah kepada produktivitas bioetanol.

Galur mutan sorgum terseleksi toleran tanah masam mempunyai nilai tengah bobot biomasa dan bobot biji/malai yang lebih tinggi dibandingkan nilai tengah rata-rata populasi (Tabel 4 dan 5). Bobot biomassa galur mutan toleran tanah masam berkisar antara 566.73-976.81 g/tanaman, sedangkan rata-rata

populasi hanya 384.42 g/tanaman. Hal ini menunjukkan galur mutan sorgum toleran tanah masam berdasarkan bobot biomasa berpotensi menghasilkan bioetanol

dengan produktivitas tinggi karena bobot biomasa yang tinggi akan menghasilkan nira batang (*stem juice*) yang juga tinggi.

Tabel 4. Galur mutan sorgum terseleksi toleran tanah masam berdasarkan bobot biomasa tanaman dan bobot biji/malai

No	Galur mutan sorgum	Rata-rata bobot biomasa galur terseleksi (g)	Nilai Z
1.	ZH30-35-07	976.81	4.08
2.	ZH30-29-07	674.54	2.00
3.	ZH30-14-07	595.95	1.46
4.	ZH30-36-07	577.52	1.33
5.	ZH30-30-07	570.73	1.28
6.	ZH30-21-07	566.73	1.26
Nilai rata-rata populasi (g)		384.42	
$\bar{X}_i + 1SD$		529.63	1.00

Nilai tengah bobot biji/malai galur mutan toleran tanah masam berkisar antara 74.02-91.99 g, jauh lebih tinggi dibandingkan rata-rata populasi yang hanya 54.54 g (Tabel 5). Hal ini menunjukkan galur mutan sorgum toleran tanah masam mempunyai peluang yang tinggi

untuk menghasilkan produktivitas biji yang juga tinggi. Hal ini selaras dengan pendapat Sopandie (2006) yang menyatakan bahwa perbaikan terhadap daya adaptasi tanaman dapat digunakan untuk perbaikan produktivitas pada kondisi bercekaman.

Tabel 5. Galur mutan sorgum terseleksi toleran tanah masam berdasarkan bobot biji/malai

No	Galur mutan sorgum	Nilai tengah bobot biji/malai (g)	Nilai Z
1.	ZH30-29-07	91.99	2.33
2.	BR-ZH30-05-07	83.81	1.82
3.	ZH30-30-07	78.72	1.50
4.	ZH30-35-07	78.51	1.49
5.	GH-ZB-41-07	74.26	1.23
6.	BR-ZH30-07-07	74.02	1.21
Nilai rata-rata populasi (g)		54.54	
$\bar{X}_i + 1SD$		70.61	1.00

Di antara galur yang terpilih berdasarkan seleksi dengan menggunakan bobot biji/malai dan bobot biomasa terdapat tiga galur yang sama dipilih pada dua karakter seleksi tersebut, yaitu ZH30-29-07, ZH30-30-07, dan ZH30-35-07. Galur-galur tersebut merupakan galur mutan sorgum yang berdaya hasil tinggi dan toleran pada kondisi tanah masam, karena mempunyai bobot biomasa dan bobot biji/malai lebih tinggi di antara galur mutan yang diuji. Galur-galur tersebut dapat dilanjutkan ke Uji Daya Hasil pada kondisi tanah masam guna mendapatkan varietas sorgum yang berdaya hasil tinggi dan toleran terhadap tanah masam.

**KESIMPULAN**

1. Terdapat keragaman pada karakter agronomi galur-galur mutan sorgum yang ditanam di tanah masam dengan tingkat kejenuhan Al tinggi.

2. Perbaikan daya adaptasi dan potensi hasil galur mutan sorgum di tanah masam lebih efektif dilakukan terhadap karakter bobot biomasa dan bobot biji/malai karena karakter tersebut mempunyai nilai heritabilitas yang tinggi.
3. Galur mutan sorgum yang mempunyai produktivitas tinggi dan toleran terhadap tanah masam di antaranya adalah ZH30-29-07, ZH30-30-07, dan ZH30-35-07.

**DAFTAR PUSTAKA**

Borrell, A., E. Oosterom, G. Hammer, D. Jordan, A. Douglas. 2006. The Physiology of “Stay-green” in Sorghum. Hermitage Research Station, University of Queensland, Brisbane.

Ceccarelli, S. 1996. Adaptation to low/high input cultivation. Euphytica 92:203-214.

- Ceccarelli, S., W. Erskine, J. Humblin, S. Brande. 2007. Genotype by environment interaction and international breeding program. <http://www.icrisat.com>. [15 Januari 2007].
- Direktorat Gizi Departemen Kesehatan RI. 1992. Daftar Komposisi Bahan Makanan. Bhratara, Jakarta.
- FAO. 2002. Sweet Sorghum in China. Spotlight/2002.
- Grassi, G. 2005. Technologies of Liquid Biofuels Production in Europe. European Biomass Industry Association (EUBIA).
- Hidayat, A., A. Mulyani. 2002. Lahan Kering untuk Pertanian. hal 1-34. Dalam A. Adimihardja, Mappaona dan Arsil Saleh, (eds). Teknologi Pengelolaan Lahan Kering. Penyunting: Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Badan Litbang Deptan, Bogor.
- Hoeman, S. 2007. Peluang dan potensi pengembangan sorgum manis. Makalah pada workshop “Peluang dan Tantangan Sorgum Manis sebagai Bahan Baku Bioetanol”. Dirjen Perkebunan, Departemen Pertanian, Jakarta.
- Nkongolo, K.K., L. Chinthu, M. Malusi, Z. Vokhiwa. 2008. Participatory variety selection and characterization of Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) elite accessions from Malawian gene pool using farmer and breeder knowledge. African J. Agric. Res. 3(4):273-283.
- Kochian, L.V. 1995. Cellular mechanism of aluminum toxicity and resistance in plant. Ann. Rev. Plant Physiol. Mol. Biol. 46:237-260.
- Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2<sup>nd</sup> Edition. Academic Press. London, San Diego, New York, Boston, Sydney, Tokyo, dan Toronto.
- Medco Energy. 2007. Kesimpulan Notulen pada workshop “Peluang dan Tantangan Sorgum Manis sebagai Bahan Baku Bioetanol”. Dirjen Perkebunan, Departemen Pertanian, Jakarta.
- Rajvanshi, A.K., N. Nimbkar. 2001. Sweet sorghum R&D at the Nimbkar Agriculture Research Institut (NARI). Nimbkar Agriculture Research Institut (NARI), Maharashtra.
- Reddy, B.V.S., W.D. Dar. 2007. Sweet sorghum for bioethanol. Makalah pada workshop “Peluang dan Tantangan Sorgum Manis sebagai Bahan Baku Bioetanol”. Dirjen Perkebunan, Departemen Pertanian, Jakarta.
- Roy, D. 2000. Plant Breeding: Analysis and Exploitation of Variation. Narosa Publishing House Calcutta.
- Ryan, P.R., R.J. Reid, F.A. Smith. 1997. Direct evaluation of the Ca<sup>+2</sup>-displacement hypothesis for Al toxicity. Plant Physiol. 113:1351-1357.
- Sopandie, D. 2006. Perspektif fisiologi dalam pengembangan tanaman pangan di lahan marginal. Orasi Ilmiah Guru Besar Tetap Fisiologi Tanaman. Bogor: Institut Pertanian Bogor. 16 September 2006.
- Toure, A., F.W. Rattunde, E. Weltzien. 2004. Guinea sorghum Hybrids: Bringing the Benefits of Hybrid Technology to A Staple Crop of Sub-Saharan Africa. IER-ICRISAT.
- Wang, J.P., R. Harsh, Z. Guo-ping, M. Neville, Z. Meixue. 2006. Aluminium tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.): physiological mechanisms, genetics and screening methods. Journal of Zhejiang University-Science B. 7(10):769-787.
- Yudiarto, M.A. 2006. Pemanfaatan Sorgum sebagai Bahan Baku Bioetanol. Balai Besar Teknologi Pati (B2TP), Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), Lampung.