

Evaluasi Genotipe Sorgum Manis (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) Produksi Biomass dan Daya Raton Tinggi

Roy Efendi, M. Aqil, dan Marcia Pabendon

Balai Penelitian Tanaman Serealia
Jl. Dr. Ratulangi 274, Maros, Sulawesi Selatan
Email: roysereal@yahoo.com

Naskah diterima 24 September 2012 dan disetujui diterbitkan 30 Mei 2013

ABSTRACT. Evaluation of Sweet Sorghum Genotypes for High Biomass Production and Ratooning Ability. The possibility of sustainable use of sweet sorghum as raw material for animal feed and bioethanol need to be supported by evaluation and selection of sweet sorghum genotypes for high biomass production, sugar content of the stalk, and its ratooning ability. An experiment was conducted at the experimental field of the Cereal Crops Research Institute, Maros, during the anomalous season (La Nina) from November 2009 to September 2010. Fourteen genotypes of sweet sorghum were planted in plots arranged in a randomized block design with three replications. The sorghum seeds were planted as primary crop plants in November 2009 and harvested in February 2010. Ratoons of the primary crop (Ratoon I) started to grow in February 2010 and was harvested in May 2010, while Ratoon II started to grow in May 2010 and was harvested in August 2010. The results showed that none of the sorghum genotypes had the potential of high fresh biomass production, high ratooning ability, and high sugar content of stalk juice. Genotype 15021A produced the highest fresh biomass (63.4 t/ha), but had low ratooning ability I (33-44%) and low sugar stalk juice content (9 brix). Meanwhile, genotype 15105B had high ratooning ability (64-88%) and high sugar content of stalk juice (13 brix), but it had a low fresh biomass production (41.8 t/ha). The amount of fresh biomass production from the primary crop plants until Ratoon II was determined by the potential production of fresh biomass/ha and ratooning capability of the sorghum genotype. The fresh biomass production of the sorghum genotype was correlated with the plant height and the date of flowering.

Keywords: Fresh biomass; sugar stalk juice content; ratooning capability; sweet sorghum.

ABSTRAK. Peluang penggunaan sorgum manis sebagai bahan baku pakan hijauan dan bioetanol berkesinambungan perlu didukung penelitian untuk mengevaluasi dan menyeleksi genotipe sorgum manis yang memiliki keunggulan biomass, kadar gula brix nira, dan daya raton tinggi. Penelitian dilaksanakan di Kebun Percobaan Maros, Balai Penelitian Tanaman Serealia, Maros, pada anomali musim yaitu musim hujan (*La nina*) bulan November 2009-September 2010. Empat belas genotipe sorgum manis dalam petakan menggunakan rancangan acak kelompok dengan tiga ulangan. Tanaman primer yang berasal dari biji ditanam pada bulan November 2009 dan dipanen bulan Februari 2010. Tanaman baru (tanaman raton I) yang tumbuh dari pangkal batang primer yang telah dipanen mulai muncul pada bulan Februari 2010 dan dipanen pada bulan Mei 2010. Tanaman raton II mulai tumbuh pada bulan Mei 2010 dan dipanen pada bulan Agustus 2010. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari 14 genotipe sorgum manis yang diuji tidak ada genotipe yang memiliki tiga karakter unggulan sekaligus, yaitu produksi biomass segar yang tinggi, daya raton tinggi, dan kandungan gula brix nira batang yang tinggi. Genotipe 15021A memiliki produksi biomass segar yang tinggi (63,4 t/ha), tetapi memiliki daya raton yang rendah,

dengan persentase tumbuh raton 33-44% dan kandungan gula brix nira batang rendah (9 brix). Sebaliknya, genotipe 15105B memiliki kandungan gula brix nira batang yang tinggi (13 brix) dan daya raton yang tinggi dengan persentase tumbuh raton 64-88%, tetapi produksi biomass segarnya rendah (41,8 t/ha). Besarnya total produksi biomass segar dari tanaman primer sampai raton II ditentukan oleh potensi produksi biomass/ha dan daya raton yang tinggi. Produksi biomass segar berkorelasi positif dengan tinggi tanaman dan umur tanaman berbunga.

Kata kunci: Biomass segar; daya raton; kandungan gula nira batang; sorgum manis.

Sorgum merupakan tanaman yang mampu beradaptasi luas dan berpotensi besar dikembangkan di Indonesia. Tanaman sorgum sangat efisien dan efektif dalam memanfaatkan air pada musim kering karena daun sorgum umumnya dilapisi lilin sehingga mengurangi laju transpirasi dan mempunyai sistem perakaran yang ekstensif (House 1985). Efisiensi penggunaan airnya cukup tinggi, yaitu 310 kg air/kg berat kering, sedangkan jagung 370 kg air/kg berat kering (Tesso *et al.* 2005). Selain itu tanaman sorgum memiliki gen yang berperan memperlambat proses *senescence* daun pada kondisi air yang terbatas sehingga daun dalam kondisi *stay-green* (Mahalakshmi and Bidinger 2002, Borrel *et al.* 2006). Tanaman sorgum juga toleran pada kondisi lengas tanah tinggi dan tanah salin (Almodares *et al.* 2007a, Almodares *et al.* 2008, Vasilakoglou *et al.* 2011), sehingga dapat dikembangkan pada lahan marginal.

Kelebihan lain dari sorgum adalah tumbuhnya tunas baru dari tunggul batang yang telah dipanen dan menghasilkan anakan baru hingga dapat dipanen kembali atau tanaman raton (Duncan *et al.* 1980, Livingston and Coffman 2003). Menurut Tsuchihashi dan Goto (2008), tanaman sorgum dapat dipanen dua sampai tiga kali, termasuk tanaman primer dan ratunnya, sehingga dapat mensuplai bahan baku karbohidrat, pakan hijauan ternak atau bahan bioetanol secara berkesinambungan. Dengan memanfaatkan daya raton yang tinggi maka budi daya sorgum menjadi lebih efisien karena dapat mengurangi biaya tenaga kerja dan waktu untuk tanam dan pengolahan tanah serta penggunaan benih dan energi.

Di Indonesia tanaman sorgum dapat dipanen 2-3 kali (Tsuchihashi dan Goto 2008), dengan sistem budi daya tanaman asal biji dan budi daya peratunan 1-2 kali. Hasil penelitian Schaffert dan Borgonovi (2002) dengan sistem budi daya tersebut memperoleh total produksi 166 ton/ha biomas segar dalam tiga kali panen.

Sistem budi daya sorgum dengan menanam biji dan memelihara ratunnya setelah panen tanaman utama dapat digunakan untuk mengatasi kekurangan air pada periode musim kering, menurut Tsuchihashi and Goto (2008) pertanaman ratun cenderung lebih toleran cekaman kekeringan dibanding tanaman utamanya. Berdasarkan penelitian Solamalai *et al* (2001) menunjukkan bahwa tanaman ratun memerlukan air lebih sedikit dibanding tanaman utamanya. Opole *et al.* (2007) juga menyiratkan bahwa produksi sorgum dengan memanfaatkan kemampuan daya ratunnya dapat meningkatkan hasil dan pendapatan petani di Kenya.

Sorgum manis merupakan tanaman multiguna. Batang, nira, dan bijinya mengandung lignoselulosa dan sakarida terfermentasi yang tinggi (Whitfield *et al.* 2011) yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pakan hijauan ternak yang bermutu melalui bioproses (Sirappa 2003, Atmodjo 2011) dan menghasilkan gula terfermentasi 6,5-10,1 t/ha (Tew *et al.* 2008, Ratnavathi *et al.* 2010). Pemanfaatan sorgum manis mulai banyak diarahkan sebagai bahan baku bioetanol melalui proses fermentasi (Sumantri *et al.* 1996, Mussatto *et al.* 2010, Wu *et al.* 2011). Nira batang sorgum manis mengandung glukosa \pm 70%. Menurut Ananda *et al.* (2011), kandungan glukosa dari nira batang sorgum berkorelasi positif dengan volume etanol yang tinggi.

Di antara bagian tanaman sorgum, batang memberi kontribusi paling besar untuk memproduksi nira sebagai bahan baku bioetanol (Almodares and Hadi 2009). Produktivitas rata-rata batang sorgum berkisar antara 30-50 t/ha dan daun 20-40 t/ha. Pembuatan 1 liter bioetanol membutuhkan 22-25 kg batang sorgum (Yudiarto 2006). Hasil penelitian di Balitsereal pada tahun 2006, menunjukkan produksi etanol dari nira batang sorgum manis berkisar antara 415-2.576 l/ha. Hal ini hampir sama dengan hasil penelitian Sumaryono (2006), yaitu 2.300 l/ha bioetanol. Singgih (2006) dan Pabendon (2012) menyatakan bahwa produksi etanol ditentukan oleh produksi biomas dan kandungan gula nira batang.

Terbukanya peluang sorgum manis sebagai bahan baku bioetanol atau pakan hijauan ternak perlu didukung oleh perakitan varietas sorgum manis yang memiliki keunggulan biomas, daya ratun, dan kandungan gula nira batang yang tinggi. Tahap awal adalah melakukan seleksi plasma nutfah sorgum manis yang ada untuk mengetahui keunggulannya. Penelitian

ini bertujuan mengevaluasi dan mengetahui potensi produksi biomas segar, daya ratun, kandungan gula nira batang yang tinggi, baik dari tanaman primer maupun ratun dari plasma nutfah sorgum manis Balitsereal, serta menentukan karakter seleksi yang dapat digunakan untuk menduga potensi sorgum manis yang memiliki biomas tinggi.

BAHAN DAN METODE

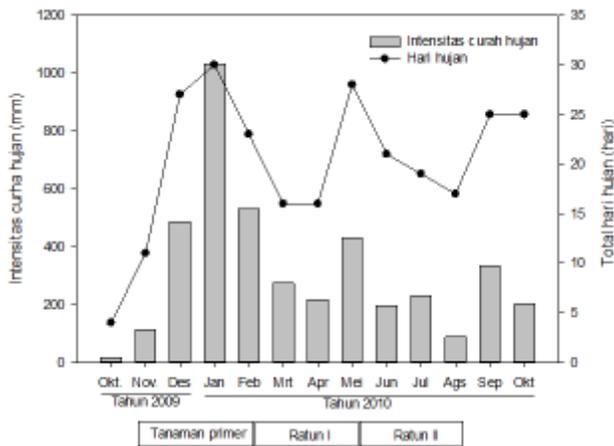
Penelitian dilaksanakan di Kebun Percobaan Maros, Balai Penelitian Tanaman Sereal, pada bulan November 2009-September 2010. Empat belas genotipe sorgum manis disusun dalam rancangan acak kelompok dengan tiga ulangan, masing-masing genotipe ditanam pada petak berukuran 3 m x 5 m dengan jarak tanam 75 cm x 25 cm, dua tanaman per lubang tanam dengan populasi 106.666 tanaman/ha. Genotipe tersebut adalah 10 sorgum introduksi dari ICRISAT (4183A, 15131B, 15105B, 1090A, 15011B, 15021A, 15011A, 15020A, 5193C, 15019), tiga sorgum lokal (Watar Hammu Putih, Selayar hitam, Sorgum Hitam), dan varietas Numbu sebagai pembandingan.

Benih ditanam pada 5 November 2009 dan pada saat bersamaan juga dilakukan penanaman benih di kotak dengan panjang 35 cm x lebar 20 cm x tinggi 17 cm, yang berisi campuran tanah, pasir, dan pupuk kandang (1:1:1) sebagai media tanam. Tanaman yang tumbuh dalam kotak digunakan sebagai penyulam tanaman sorgum yang tidak tumbuh di lapangan, sehingga populasi tanaman yaitu 106.666 tanaman/ha terpenuhi. Penyulaman dilakukan pada saat tanaman berumur 10-15 hari setelah tanam (HST). Tanaman yang berasal dari benih disebut tanaman primer. Pemupukan pertama dilakukan pada saat tanaman berumur 12 HST dengan takaran 100 kg urea dan 150 kg Ponska/ha dan pemupukan susulan pada saat tanaman berumur 35-40 HST dengan takaran 150 kg urea dan 150 kg Ponska/ha.

Panen biomas dari tanaman primer dilakukan pada saat masak fisiologis yaitu pada 5-11 Februari 2010. Pada saat itu kandungan gula pada batang sorgum telah mencapai maksimum (Almodares *et al.* 2007b). Panen biomas tanaman primer dilakukan dengan memotong batang sorgum 5-10 cm di atas tanah. Sisa tunggul batang tanaman primer dipelihara sampai tumbuh tunas baru yang disebut tanaman ratun (ratun pertama). Pemupukan I dan II dilakukan pada saat tanaman berumur 10-15 dan 35-40 hari setelah panen biomas tanaman primer dengan takaran yang sama seperti pemupukan tanaman primer. Penjarangan tanaman ratun pertama dilakukan setelah pemupukan pertama

sampai menjelang pemupukan kedua. Panen tanaman ratun pertama dilakukan pada saat masak fisiologis yaitu 11-15 Mei 2010, kemudian sisa tunggul batang dari ratun pertama dipelihara kembali sampai tumbuh tunas baru yang disebut tanaman ratun kedua. Waktu dan takaran pemupukan serta penjarangan pada tanaman ratun kedua sama dengan tanaman ratun pertama. Panen biomas tanaman ratun kedua dilakukan 5-8 Agustus 2010.

Selama percobaan, intensitas curah dan hari hujan cukup tinggi pada tahun 2010 dimana terjadi anomali iklim yaitu El Nina (Gambar 1).



Gambar 1. Intensitas curah hujan dan hari hujan bulanan dalam periode 2009-2010.

Data yang dikumpulkan adalah tinggi tanaman, jumlah ruas per tanaman, diameter batang, persentase tumbuh ratun pertama dan kedua, umur berbunga, umur panen, bobot biomas segar batang dan daun, serta kandungan gula brix dari nira batang menggunakan refraktometer tipe *hand-held*, salah satu alat yang dapat digunakan untuk menganalisis kadar sukrosa pada bahan makanan (Ihsan dan Wahyudi 2010). Semua karakter yang diamati pada pertanaman primer juga dilakukan pada pertanaman ratun pertama dan kedua.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Produksi Biomas Segar

Pada tanaman primer, genotipe 15021A memiliki biomas segar paling tinggi, yaitu 63,4 t/ha, namun produksi biomas segar pada ratun pertama menurun tajam sebesar 61,2% menjadi 24,6 t/ha dan menurun 67,5% pada ratun kedua menjadi 20,6 t/ha (Tabel 1). Penurunan produksi biomas segar yang sangat tajam pada genotipe 15021A dari tanaman ratun pertama dan kedua disebabkan persentase tumbuh ratunnya yang rendah yaitu hanya 44,2% pada ratun pertama dan 33,3% pada ratun kedua (Tabel 6). Persentase tumbuh ratun akan menentukan jumlah individu tanaman yang dapat dipanen per satuan luas sehingga berpengaruh terhadap produksi biomas segar per satuan luas.

Tabel 1. Produksi dan persentase penurunan biomas segar pada tanaman primer dan ratun. KP Maros, MT 2009/2010.

Genotipe	Produksi biomas segar (t/ha)			Total produksi biomas (t/ha)	Penurunan produksi biomas segar (%)	
	Primer	Ratun I	Ratun II		Ratun I	Ratun II
1090A	40,1	18,7	13,6	72,4	53,4	66,1
15011A	44,8	31,0*	27,0	102,7	30,8	39,7
15011B	46,2	23,8	8,6*	78,6	48,5	81,4
15019B	29,6*	20,9	15,1	65,5	29,4	49,0
15021A	63,4*	24,6	20,6	108,6*	61,2	67,5
15105B	41,8	31,9*	25,3	99,0	23,7	39,5
15120A	26,5*	12,6	14,4	53,5*	52,5	45,7
15131B	36,5*	22,8	22,6	81,9	37,5	38,1
4_183A	47,1	24,2	14,6	85,9	48,6	69,0
5_193C	44,6	15,9	14,6	75,1	64,3	67,3
Selayar Hitam	47,4	32,1*	16,5	95,9	32,3	65,2
Sorgum Hitam	34,5*	15,8	12,7	63,1	54,2	63,2
Watar Hammu Putih	53,8	24,6	13,2	91,7	54,3	75,5
Numbu (pembanding)	45,3	17,7	18,8	81,9	60,9	58,5
Rata-rata	43,0	22,6	17,0	82,6	47,4	60,5
BNT	8,6	9,6	9,1	25,7		
KK (%)	12,0	14,3	15,1	16,6		

^a Akumulasi produksi biomas segar dari tanaman primer – ratun II

^b Persentase penurunan produksi biomas segar dibanding tanaman primer

* Nyata lebih tinggi dibanding Numbu berdasarkan uji BNT $\alpha < 5\%$.

Rata-rata produksi biomas segar tanaman ratun cenderung lebih rendah dibanding tanaman primernya. Rata-rata produksi biomas segar tanaman ratun pertama sebesar 17,8 t/ha dan ratun kedua sebesar 13,9 t/ha masing-masing 47% dan 61% dari produksi tanaman primer sebesar 43,0 t/ha (Tabel 1). Salah satu penyebab terjadinya penurunan produksi biomas tanaman ratun adalah umur tanaman yang lebih genjah (98-106 hari) dibanding tanaman primer dengan umur panen 110-114 hari (Tabel 5), sehingga periode akumulasi fotosintat ke bagian biomas tanaman menjadi lebih rendah.

Berdasarkan akumulasi produksi biomas dari tanaman primer-ratun kedua, genotipe 15021A dan 15011A menghasilkan total biomas yang paling tinggi masing-masing 108,6 t dan 102,7 t/ha, berbeda nyata dengan varietas Numbu yang hanya 81,9 t/ha (Tabel 1). Besarnya akumulasi produksi total biomas tanaman primer dan ratun didukung oleh potensi produksi biomas yang besar dan daya ratun yang tinggi. Pada genotipe 15021A, besarnya akumulasi biomas segar hanya didukung oleh potensi produksi biomas tanaman primernya 63,4 t/ha yang menyumbang 58,7% dari total produksi 108,6 t biomas segar dari tanaman primer ratun kedua. Genotipe 15011A memiliki potensi ratun yang cukup tinggi dengan persentase tumbuh ratun pertama sebesar 73,0% dan ratun kedua 54,2% sehingga produksi biomas segar ratun pertama dan kedua

menyumbang 56,5% produksi biomas segar tanaman primer ratun sampai kedua (Tabel 1). Total produksi yang diperoleh dari genotipe tersebut masih lebih rendah dibanding hasil penelitian Schaffert dan Borgonovi (2002) dengan total produksi 166 ton biomas segar dalam tiga kali panen.

Produksi Biomas Daun dan Batang

Sorgum manis berpotensi dikembangkan sebagai bahan baku pakan hijauan ternak, dimana nutrisi daunnya setara dengan rumput gajah dan pucuk tebu (Sirappa 2003, Atmodjo 2011) dan produktivitas biomasnya lebih tinggi dibanding jagung atau tebu (Hoeman 2007). Hal tersebut karena tanaman sorgum memiliki gen pengendali kehijauan daun sampai masak fisiologis, yaitu gen *Stg1*, *Stg2*, *Stg3* dan *Stg4* (Mahalakshmi and Bidinger 2002, Borrel *et al.* 2005). Genotipe 15021A dan Selayar Hitam memiliki potensi sebagai penyedia bahan baku pakan hijauan ternak dengan produksi biomas daun segar paling besar dari tanaman primernya, berkisar antara 11-13 t/ha, nyata lebih tinggi dibanding varietas Numbu dengan produksi daun hanya 7 t/ha (Tabel 2). Berdasarkan akumulasi produksi biomas daun segar maka genotipe 15021A, Selayar Hitam, dan 15105B mampu memproduksi biomas daun segar 20-24 t/ha (Tabel 2). Akan tetapi hanya genotipe 15105B yang

Tabel 2. Produksi biomas daun dan batang tanaman primer dan ratun sorgum manis. KP Maros, MT 2009/2010.

Genotipe	Produksi daun segar (t/ha)			^a Total produksi	Produksi batang segar (t/ha)			^b Total produksi
	Primer	Ratun I	Ratun II		Primer	Ratun I	Ratun II	
1090A	8,4	3,6	2,0	14,0	31,7	15,1	11,6	58,3
15011A	6,8	4,7	3,3	14,8	38,0	26,2	23,6*	87,9*
15011B	7,0	4,5	1,1	12,6	39,2	19,2	7,5	65,9
15019B	7,1	4,8	3,2	15,1	22,5	16,1	11,8	50,4
15021A	13,2*	6,0	4,5	23,6*	50,2*	18,6	16,2	85,0*
15105B	8,3	7,2*	4,9	20,4*	33,5	24,6	20,4	78,5
15120A	7,0	3,5	3,5	14,0	19,5	9,1	10,9	39,5
15131B	8,8	4,7	3,8	17,4	27,7	18,0	18,8	64,5
4_183A	9,3	5,4	2,9	17,5	37,8	18,9	11,7	68,4
5_193C	7,9	3,0	2,6	13,5	36,7	12,9	12,0	61,6
Selayar Hitam	11,1*	8,2*	3,8	23,1*	36,2	13,8	10,7	70,7
Sorgum Hitam	6,7	2,9	2,2	11,8	27,9	23,8	10,5	51,4
Watar Hammu Putih	8,8	4,4	2,4	15,6	45,2	13,0	10,8	76,0
Numbu (pemanding)	7,0	3,9	3,1	13,9	38,4	20,3	15,7	67,9
BNT	2,6	2,1	2,0	4,0	7,52	8,06	7,6	15,7
KK	12,7	14,2	15,1	17,8	12,9	14,9	15,5	16,4

^a Akumulasi produksi biomas segar dari tanaman primer – ratun II

^b Persentase penurunan produksi biomas segar dibanding tanaman primer

* Nyata lebih tinggi dibanding Numbu berdasarkan uji BNT $\alpha < 5\%$.

berpotensi sebagai penyedia bahan baku pakan hijauan ternak secara berkesinambungan dengan memanfaatkan daya ratunnya yang cukup tinggi, persentase tumbuh tanaman ratun pertama dan kedua masing-masing 88% dan 64% (Tabel 6).

Biomass batang segar sorgum manis banyak dimanfaatkan sebagai bahan baku bioetanol (Almodares and Hadi 2009). Berdasarkan produksi biomass batang per satuan luas, tanaman primer genotipe 15021A menghasilkan bobot biomass batang paling besar, yaitu 50,2 t/ha, nyata lebih tinggi dibanding varietas Numbu yang hanya 38,4 t/ha. Hal tersebut menunjukkan bahwa genotipe 15021A berpotensi besar sebagai bahan baku bioetanol. Produktivitas biomass batang segar genotipe 15021A cukup menjanjikan karena tidak jauh berbeda dengan produktivitas sorgum manis hibrida varietas NTJ-2 yang dibudidayakan di India dengan produktivitas biomass batang segar 53 t/ha (Reddy and Dar 2007). Namun diperlukan upaya peningkatan produksi melalui program pemuliaan untuk menghasilkan produktivitas yang dapat menyamai varietas sorgum M81-E yang dapat mencapai 103,6 t biomass batang segar/ha (Almodares and Hadi 2009).

Karakter Seleksi Produksi Biomass Tinggi pada Tanaman Sorgum Manis

Pada Tabel 1 menunjukkan bahwa tanaman primer genotipe 15021A memiliki potensi produksi biomass segar paling tinggi yaitu 63,4 t/ha, sedangkan genotipe 15120A produksi biomass segar yang paling rendah, hanya 26,5 t/ha, berbeda nyata dibanding tanaman primer varietas

Numbu dengan produksi biomass segar 45,3 t/ha. Adanya perbedaan produksi biomass segar karena perbedaan tinggi tanaman yang dimiliki dari genotipe tersebut. Berdasarkan hasil analisis korelasi menunjukan bahwa besarnya potensi produksi biomass/ha berkorelasi sangat nyata dengan tinggi tanaman dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,56 (Tabel 3). Korelasi tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi tanaman, semakin tinggi produksi biomass segar/ha dan sebaliknya semakin rendah tanaman maka semakin rendah produksi biomass segarnya. Hal tersebut dapat dilihat dari tinggi tanaman primer genotipe 15021A yang memiliki potensi produksi biomass segar paling tinggi yaitu 63,4 t/ha ternyata memiliki tinggi tanaman paling besar yaitu 337,3 m dan ditunjang dengan diameter batang yang besar yaitu 25,1 mm, sedangkan tinggi tanaman primer genotipe 15120A lebih rendah yaitu hanya sebesar 170,8 cm ((Tabel 3), sehingga berdampak pada rendahnya produksi biomass segar yaitu hanya 26,5 t/ha (Tabel 1). Berdasarkan analisis korelasi menunjukkan bahwa ada korelasi positif nyata antara umur berbunga dan panen dengan produksi biomass segar/ha dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,57 (Tabel 4). Hubungan tersebut menunjukkan bahwa semakin panjang umur berbunga maka semakin besar peluang untuk membentuk biomass tanaman dengan ukuran dan bobot yang besar.

Produksi biomass per satuan luas pada tanaman ratun berkorelasi positif sangat nyata dengan persentase tumbuh ratun dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,72 (Tabel 4). Hal tersebut menunjukan bahwa semakin besar persentase tumbuh ratun maka semakin

Tabel 3. Tinggi tanaman dan diameter batang tanaman primer dan ratun dari beberapa genotipe sorgum manis. KP Maros, MT 2009/2010.

Genotipe	Tinggi tanaman (cm)			Diameter batang (mm)		
	Primer	Ratun I	Ratun II	Primer	Ratun I	Ratun II
1090A	296	280	277	21,4	20,0	18,5
15011A	331	315	311	21,7	22,0*	22,3
15011B	321	273	233	21,9	19,7	19,5
15019B	223	285	264	22,4	21,2	20,2
15021A	337	331	273	25,1*	23,8*	23,1*
15105B	330	329	317	22,9	20,3	19,6
15120A	171	194	180	24,8*	23,3*	22,8
15131B	307	276	300	19,6	14,9	16,2
4-183A	267	266	234	22,2	18,9	19,5
5-193C	331	292	243	23,3	20,7	19,7
Selayar hitam	242	270	256	22,4	22,6*	19,9
Sorgum hitam	333	327	279	22,4	19,9	20,7
Watar Hammu Putih	340	315	284	22,4	19,0	19,3
Numbu (pembanding)	322	321	314	21,8	19,3	18,8
BNT	45	38	49	1,9	2,2	4,0
KK	9,1	7,8	10,9	5,1	6,6	11,8

* Nyata lebih tinggi dibanding Numbu berdasarkan uji BNT $\alpha < 5\%$.

banyak jumlah individu tanaman yang dapat dipanen biomas segarnya per satuan luas sehingga semakin besar peluangnya untuk memperoleh produksi biomas segar yang tinggi dari tanaman ratun.

Umur berbunga dan umur panen pada pertanaman ratun lebih genjah dibanding pertanaman primernya. Rata-rata umur berbunga seluruh genotipe pertanaman primer adalah 61,9 hari sedangkan umur berbunga pada tanaman ratun pertama dan kedua menjadi lebih genjah masing-masing 58,4 dan 54,6 hari. Hal yang sama juga pada umur panen, pada pertanaman primer rata-rata umur panen seluruh genotipe adalah 110,6 hari, sedangkan pada pertanaman ratun pertama dan kedua menjadi lebih genjah masing-masing 103,6 dan 98,6 hari (Tabel 5).

Umur berbunga berkorelasi nyata dengan produksi biomas segar sorgum dengan nilai koefisien korelasi 0,57

(Tabel 4). Hal tersebut menunjukkan apabila umur berbunga lebih lama maka umur panen juga lebih panjang, sehingga periode fotosintesis dan akumulasi fotosintat yang digunakan untuk membentuk organ tanaman dengan ukuran lebih besar menjadi lebih lama, sehingga bobot biomas segar tanaman akan semakin besar. Hasil penelitian Blade Energy Crops (2010) menunjukkan varietas sorgum berumur dalam umumnya memiliki postur tanaman yang lebih tinggi dibanding varietas berumur genjah.

Kandungan Gula Nira Batang

Nira dari batang sorgum manis memiliki kandungan gula (glukosa, fruktosa, maltosa, dan xilosa) yang tinggi dan dapat difermentasi menjadi bioetanol (Almodares et al. 2008). Kandungan gula tersebut merupakan

Tabel 4. Nilai koefisien korelasi antarvariabel dari sorgum manis.

Variabel	Diameter batang	Jumlah ruas	Umur berbunga	Umur panen	Kandungan gula brix	Daya ratun	Bobot batang segar/ha	Bobot daun segar/ha	Produksi biomas segar/ha
Tinggi tanaman	-0,15	0,04	0,04	0,10	0,28	0,34	0,61**	0,12	0,56**
Diameter batang		0,52**	0,50**	0,33	-0,08	-0,32	0,19	0,22	0,21
Jumlah ruas			0,68**	0,60**	0,17	0,30	0,40*	0,37	0,43*
Umur berbunga				0,78**	0,12	-0,40	0,50*	0,61**	0,57**
Umur panen					-0,09	-0,30	0,38	0,69**	0,48*
Kandungan gula brix daya ratun						0,09	0,30	0,21	0,31
Bobot batang segar/ha							0,72**	0,58**	0,72**
Bobot daun segar/ha								0,49*	0,98**
									0,65**

*berkorelasi nyata pada $\alpha=0,05$, ** berkorelasi nyata pada $\alpha=0,01$

Tabel 5. Umur berbunga dan umur panen tanaman primer dan ratun sorgum manis.

Genotipe	Umur berbunga (hari)			Umur panen (hari)		
	Primer	Ratun I	Ratun II	Primer	Ratun I	Ratun II
1090A	57,0	53,5	49,7	110,0	103,0*	98,0
15011A	62,0*	58,5*	54,7*	110,0	103,0*	98,0
15011B	62,7*	59,2*	55,3*	110,0	103,0*	98,0
15019B	60,7*	57,2*	53,3*	110,3*	103,3*	98,3*
15021A	70,7*	67,2*	63,3*	114,0*	104,3	102,0*
15105B	63,7*	60,2*	56,3*	110,0	104,3	98,0
15120A	62,0*	58,5*	54,7*	110,0	104,3	98,0
15131B	57,0	53,5	49,7	110,0	104,3	98,0
4-183A	62,0*	58,5*	54,7*	110,0	103,0*	98,0
5-193C	62,0*	58,5*	54,7*	110,0	103,0*	98,0
Selayar hitam	69,3*	65,7*	61,8*	114,0*	103,0*	102,0*
Sorgum hitam	57,0	53,5	49,7	110,0	103,0*	98,0
Watar Hammu Putih	63,7*	60,2*	56,3*	110,0	103,0*	98,0
Numbu (Pembanding)	57,0	53,5	49,7	110,0	105,7	98,0
BNT	1,5	1,5	1,5	0,3	2,4	0,26
KK	1,4	1,5	1,6	0,1	0,2	0,2

* Nyata lebih tinggi dibanding Numbu berdasarkan uji BNT $\alpha < 5\%$.

indikator penting sebagai bahan baku untuk memproduksi bioetanol. Ananda *et al.* (2011) menyatakan bahwa semakin tinggi kandungan glukosa pada nira batang sorgum semakin besar etanol yang diperoleh dari proses fermentasi. Kandungan gula dari nira batang dipengaruhi oleh lingkungan dan faktor genetik (Duncan and Gardener 1983, Murray *et al.* 2008, Saballos 2008, Corn 2009). Genotipe 15105B memiliki kandungan gula brix nira yang tinggi pada musim hujan, berkisar antara 9,0-12,7 brix dan nyata lebih tinggi dibanding varietas Numbu yang hanya berkisar 5,0-9,3 brix (Tabel 6).

Rata-rata kandungan gula nira batang dari seluruh genotipe sorgum manis yang diuji hanya 10,0 brix dari tanaman primer, menurun menjadi 8,6 pada tanaman ratun pertama dan 6,2 brix pada tanaman ratun kedua (Tabel 6). Kandungan gula tersebut tergolong rendah, karena menurut Almodares dan Hadi (2009), kandungan gula dari batang sorgum manis berkisar 14–23 brix. Rendahnya kadar gula brix nira batang dari 14 genotipe sorgum yang diuji disebabkan oleh curah hujan yang tinggi selama fase pertumbuhan. Hasil penelitian Sumarni *et al.* (2009) pada musim kemarau menunjukkan 14 genotipe sorgum yang diuji memiliki kandungan gula nira batang 18–21 brix. Pada musim hujan, kandungan gula nira batang dari tanaman primer genotipe 15105B 12,7 brix sedangkan hasil penelitian Pabendon (2012) pada musim kemarau menunjukkan kandungan gulanya lebih tinggi, yaitu 16 brix (Tabel 6). Tingginya kandungan gula nira batang pada musim

kemarau disebabkan oleh akumulasi glukosa dan sukrosa pada batang sorgum lebih tinggi dibanding musim hujan (Tsuchihashi and Goto 2004, Almodares *et al.* 2007, Teetor *et al.* 2011).

Selain memodifikasi faktor lingkungan agar dapat meningkatkan kandungan gula pada batang sorgum, Tsuchihashi dan Goto (2004) menyarankan bahwa untuk meningkatkan kandungan gula pada batang sorgum manis, sebaiknya produksi biji ditekan untuk mengurangi organ tanaman sebagai sink, sehingga akumulasi penumpukan glukosa pada batang menjadi lebih banyak. Hal tersebut dapat menjadi pertimbangan dalam program perakitan varietas sorgum manis dengan potensi biomas dan kandungan gula nira batang yang tinggi.

Daya Ratun

Besarnya keragaman persentase ratun tumbuh dari beberapa genotipe sorgum manis yang diuji menunjukkan bahwa daya ratun tanaman sorgum dipengaruhi oleh faktor genetik. Keragaman persentase tumbuh tanaman ratun pada musim hujan dari 14 genotipe yang diuji, ratun pertama berkisar 44-88% dan ratun kedua 29-64%. Hasil penelitian Setyowati *et al.* (2005) menunjukkan terdapat beberapa sorgum yang memiliki daya ratun tinggi pada musim kemarau dengan persentase tumbuh ratun 70%. Hal tersebut menunjukkan bahwa budi daya sorgum dapat dilakukan sepanjang musim, karena ratun tanaman sorgum dapat

Tabel 6. Persentase tumbuh tanaman ratun pertama dan kedua.

Genotipe	Kandungan gula brix (%) dari nira batang			Persentase ratun tumbuh (%)		
	Primer	Ratun I	Ratun II	^a Primer	Ratun I	Ratun II
1090A	9,5	7,0	6,3	14,1	71,5	41,7
15011A	9,7	6,0	5,3	11,0	73,0	54,2
15011B	10,3	8,0	6,3	14,9	63,2	28,8
15019B	10,7	10,7*	7,3*	15,6	72,1	59,5
15021A	9,3	9,3	5,3	14,4	44,2	33,3
15105B	12,7*	12,7*	9,0*	16,0	88,2	64,1
15120A	9,7	9,0	7,7*	13,0	50,0	45,3
15131B	9,2	9,3	5,0	12,8	85,8	59,7
4-183A	11,0	5,7	5,7	14,4	80,7	40,0
5-193C	9,0	7,0	5,0	13,8	65,7	45,9
Selayar hitam	9,8	11,3*	8,7*	12,0	57,3	28,8
Sorgum hitam	9,8	8,0	5,3	11,6	65,5	39,7
Watar Hammu Putih	12,3*	9,3	5,3	14,0	74,8	26,3
Numbu (pembanding)	9,3	7,7	5,0	14,8	78,6	59,5
Rata-rata	10,0	8,6	6,2		69,3	44,8
BNT	2,7	2,6	1,6		18,4	16,8
KK	14,0	14,4	15,9		14,4	15,3

^a Hasil penelitian Pabendon *et al.* 2012

* Nyata lebih tinggi dibanding Numbu berdasarkan uji BNT $\alpha < 5\%$.

Tabel 7. Matriks keunggulan dan kelemahan genotipe sorgum dibandingkan dengan varietas Numbu.

Genotipe	Produksi biomasa segar/ha				Bobot biomasa batang				Bobot biomasa daun				Kandungan gula nira batang			Persentase tumbuh ratun	
	P	R1	R2	TBT	P	R1	R2	TBB	P	R1	R2	TBD	P	R1	R2	R1	R2
1090A			■														■
15011A		■	■	■		■	■	■									
15011B		■	■						■								■
15019B	■		■	■	■			■						■	■		
15021A	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				■	■
15105B		■	■						■			■	■	■	■	■	■
15120A	■			■	■			■		■					■	■	
15131B	■				■												
4-183A																	■
5-193C			■														
Selayar hitam		■	■			■	■	■	■	■	■	■		■	■	■	■
Sorgum hitam	■		■		■			■									■
Watar Hammu Putih													■				■

P = tanaman primer, R1 = tanaman ratun pertama, R2 = tanaman ratun kedua, TBT = akumulasi biomasa tanaman segar dari tanaman primer - ratun, TBB = akumulasi biomasa batang segar dari tanaman primer - ratun, TBD = akumulasi biomasa daun segar dari tanaman primer - ratun, kotak hitam menunjukkan lebih unggul dan kotak bergaris menunjukkan lebih rendah dibanding varietas Numbu, sedangkan kotak putih menunjukkan tidak berbeda nyata dengan varietas Numbu.

tumbuh baik pada musim kemarau maupun musim hujan. Bahkan menurut Tsuchihashi and Goto (2008), tanaman ratun cenderung lebih toleran cekaman kekeringan dibanding tanaman primernya.

Genotipe 15105B, 15131B, 4-183A, dan Numbu memiliki daya ratun tinggi dengan persentase tumbuh ratun pertama di atas 75%, namun daya tumbuh ratun kedua yang tinggi hanya terdapat pada genotipe 15105B dengan persentase tumbuh 64%. Potensi daya ratun yang tinggi dapat dimanfaatkan dalam menekan biaya (energi, tenaga kerja dan benih) dan waktu, karena hanya memerlukan satu kali penanaman dan pengolahan tanah dan dapat dipanen dua sampai tiga kali. Sebaliknya, genotipe 15021A, 15120A, dan SelayarHitam hanya dapat dipanen satu kali saja, yaitu tanaman primernya, karena persentase tumbuh ratun pertama di bawah 50%, bahkan pada ratun kedua hanya di bawah 30%. Pada musim hujan beberapa tanaman sorgum manis yang diuji tidak mampu menghasilkan ratun karena mengalami busuk batang atau busuk akar.

Hasil Biji

Satu kesulitan budi daya sorgum manis adalah burung, dan dalam penelitian ini hasil biji tidak diamati karena sebagian besar biji dimakan burung.

Keunggulan dan Kelemahan Genotipe Sorgum Manis

Pemanfaatan sorgum manis sebagai bahan baku bioetanol atau pakan hijauan ternak, baik secara kuantitas dan kualitas, ditentukan potensi produksi bobot biomasa (batang dan daun), kandungan gula nira batang, dan daya ratun tanaman. Dibanding varietas Numbu, tidak satu pun genotipe sorgum manis yang diuji memiliki keunggulan untuk ketiga karakter tersebut sekaligus (Tabel 7). Genotipe 15021A dan Selayar Hitam memiliki potensi produksi biomasa segar yang tinggi, namun kandungan gula nira dan daya ratunnya rendah. Sebaliknya, genotipe 15105B memiliki nira batang dengan kandungan gula dan daya ratun yang tinggi, namun produksi biomasa segarnya lebih rendah dibanding Numbu.

Keunggulan dan kelemahan beberapa genotipe sorgum yang diuji memberikan informasi dasar yang dapat dimanfaatkan dalam program perakitan varietas unggul sorgum manis yang memiliki potensi produksi biomasa segar yang tinggi, daya ratun tinggi, dan nira batang dengan kandungan gula yang tinggi pula.

KESIMPULAN

1. Genotipe 15021A dan Selayar Hitam memiliki potensi produksi biomas segar yang tinggi dari tanaman primernya, namun daya ratun dan kandungan gula brix nira batangnya rendah. Sistem budi daya genotipe tersebut sebaiknya hanya dengan budi daya tanaman dari biji (*seed crop*).
2. Genotipe 15105B berpotensi sebagai bahan baku memiliki potensi keunggulan kandungan gula brix nira batang serta daya ratun yang tinggi, namun produksi biomas rendah.
3. Genotipe 15105B memiliki kandungan gula brix nira yang tinggi pada musim hujan yaitu berkisar 9,0-12,7 brix.
4. Tinggi tanaman dan umur berbunga dapat digunakan sebagai karakter seleksi genotipe sorgum manis dengan potensi produksi biomas segar yang tinggi.
5. Total produksi biomas segar yang besar tanaman primer dan ratun ditentukan oleh potensi produksi biomas dan daya ratun tinggi. Potensi tersebut dapat diperoleh dengan melakukan perbaikan atau perakitan melalui program pemuliaan konvensional atau molekuler dengan memanfaatkan potensi genetik hasil evaluasi genotipe sorgum manis (*sorghum bicolor (l.) moench*) produksi biomas dan daya ratun tinggi

DAFTAR PUSTAKA

- Almodares, A., M.R. Hadi, M. Ranjbar, and R. Taheri. 2007a. The effects of nitrogen treatments, cultivar and harvest stages on stalk yield and sugar content in sweet sorghum. *Asian J. Plant Sci.* 6(2):423-426.
- Almodares, A., M.R. Hadi, and B. Dosti. 2007b. Effects of salt stress on germination percentage and seedling growth in sweet sorghum cultivars. *J. Biol. Sci.* 7:1492-1495.
- Almodares, A., M.R. Hadi, and H. Ahmadvour. 2008. Sorghum stem yield and soluble carbohydrates under phenological stages and salinity levels *Afr. J. Biotech.* 7: 4051-4055.
- Almodares, A. and M.R. Hadi. 2009. Production of bioethanol from sweet sorghum: A review. *African J. Agri.* 4(9):772-780.
- Ananda N., P.V. Vadlani, and P.V.V. Prasad. 2011. Evaluation of drought and heat stressed grain sorghum (*Sorghum bicolor*) for ethanol production. *Industrial Crops and Products* 33:779-782. 2011.
- Atmodjo, M.C.T. 2011. Tanaman sorgum manis (*Sorghum bicolor L. Moench*) pada berbagai umur tanaman untuk pakan ternak. Seminar Sains dan Teknologi-IV. Bandar Lampung 29-30 November 2011. <http://lemlit.unila.ac.id/file/Arsip-2012/Prosiding%20Seminar%20Nasional%20SATEK%20IV/Buku%202/STK%202031.pdf>. Diakses 22 Mei 2012.
- Blade Energy Crop. 2010. Managing high-biomass sorghum as a dedicated energy crop. Collage Station, Texas. 24 p.
- Borrell, A., E.V. Osterom, G. Hammer, D. Jordan, and A. Douglas. 2006. The physiology of "stay-green" in sorghum. Solutions for a better environment". Edited by Murray Unkovich and Garry O'Leary. Proceedings of the 11th Australian Agronomy Conference, 2-6 February 2003, Geelong, Victoria. *Diakses* 16 Agustus 2012. <http://www.regional.org.au/au/asa/2003/c/1/borrell.htm#TopOfPage>.
- Corn, J.B. 2009. Heterosis and composition of sweet sorghum. Dissertation. Texas A&M University. Diakses 1-8-2011. <http://repository.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/ETD-TAMU-2009-12-7409/CORN-DISSERTATION.pdf?sequence=3>.
- Duncan, R.R. and Gardener. 1983. The influence of ratoon cropping on sweet sorghum yield, sugar production, and insect damage. *Can. J. Plant Sci.* 64:261-273.
- Duncan, R.R., F.R. Miller, and Bocholt. 1980. Inheritance of tiller regrowth in ratoon sorghum. *Can. J. Plant Sci.* 60:473-478.
- Hoeman, S. 2007. Peluang dan potensi pengembangan sorgum manis. Makalah Workshop Peluang dan Tantangan Sorgum Manis sebagai Bahan Baku Bioetanol. Ditjen Perkebunan, Departemen Pertanian, Jakarta. 10 p.
- House, L.R. 1985. A guide to sorghum breeding. 2nd Ed. International Crops Research Institute for Semi-Arid Tropics (ICRISAT), Patancheru, India.
- Ihsan, F. dan A. Wahyudi. 2010. Teknik analisis kadar sukrosa pada buah pepaya. *Buletin Teknik Pertanian* 15(1):10-12.
- Livingston, S. and D. Coffman. 2003. Ratooning grain sorghum on the Texas Gulf Coast. Diakses 2 April 2011, <http://soilcrop.tamu.edu/publications/pubs/11568.pdf>.
- Mahalakshmi, V. and F.R. Bidinger. 2002. Evaluation of stay-green sorghum germplasm lines at ICRISAT. *Crop Sci.* 42: 965-974.
- Murray, S.C., A. Sharma, W.L. Rooney, P.E. Klein, J.E. Mullet, S.E. Mitchell, and S. Kresovich. 2008. Genetic improvement of sorghum as a biofuel feedstock: I.QTL for stem sugar and grain nonstructural carbohydrates. *Crop Science* 48:2165-2179.
- Mussatto, S.I., G. Dragone, P.M.R. Guimarães, J.P.A. Silva, L.M. Carneiro, I.C. Roberto, A. Vicente, L. Domingues, and J.A. Teixeira. 2010. Technological trends, global market, and challenges of bio-ethanol production. *Biotechnology Advances* 28 (2010) 817-830.
- Opole, R.A., C.M. Mburu, and J. Lumuli. 2007. Improving ratoon management of sorghum (*Sorghum bicolor (L.) Moench*) for increasing yields in western Kenya. *African Crop Science Conference Proceedings Vol. 8*:143-146.
- Pabendon, M.B., S. Mas'ud, R.S. Sarungallo, dan A. Nur. 2012. Penampilan fenotipik dan stabilitas sorgum manis untuk bahan baku bioetanol. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 31(1):60-69.
- Ratnavathi, C.V., K. Suresh, B.S. Vijay Kumar, M. Pallavi, V.V. Komala, and N. Seetharama. 2010. Study on genotypic variation for ethanol production from sweet sorghum juice. *Biomass and Bioenergy* 34: 947-952.
- Reddy, B.V.S., A.A. Kumar, and S. Ramesh. 2007. Sweet sorghum: a Water Hammu Putih saving bio-energy crop. International Conference on Linkages between Energy and Water Hammu Putih Management for Agriculture in Developing Countries. January 29-30, 2007, IWMI, ICRISAT Campus, Hyderabad, India.
- Reddy, B.V.S. and W.D. Dar. 2007. Sweet sorghum for bioethanol. Makalah Workshop Peluang dan Tantangan Sorgum Manis sebagai Bahan Baku Bioetanol. Ditjen Perkebunan, Departemen Pertanian, Jakarta.

- Saballos, A. 2008. Development and utilization of sorghum as a bioenergy crop. In: W. Vermerris (*eds.*). Genetic improvement of bioenergy crops. Springer, New York. p.211-248.
- Schaffert, R.E. and L.M. Gourley. 2002. Sorghum as an energy source. Sorghum in the eighties. Proceedings of the International Symposium on Sorghum Volume 2. 2-7 November 1981, ICRISAT Center Patancheru, A.P., India.
- Setyowati, M., Hadiatmi, dan Sutoro. 2005. Evaluasi pertumbuhan dan hasil plasma nutfah sorgum (*Sorghum vulgare* (L.) Moench.) dari tanaman induk dan ratoon. Buletin Plasma Nutfah 11(2):41-49.
- Singgih, S. 2006. Kajian pendahuluan berbagai plasma nutfah sorgum sebagai bahan bioteanol. Laporan akhir tahun 2006: koleksi, rejuvenasi, karakterisasi dan evaluasi plasma nutfah sereal. Balai Penelitian Tanaman Sereal, Maros.
- Sirappa, M.P. 2003. Prospek pengembangan sorgum di Indonesia sebagai komoditas alternatif untuk pangan, pakan, dan industri. Jurnal Litbang Pertanian 22(4):133-140.
- Sumantri, A. 1993. Pedoman teknis budi daya sorgum manis sebagai bahan baku industri gula. Kerja Sama Direktorat Jenderal Perkebunan dengan Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia.
- Sumantri, A., Hanyokrowati, dan B. Guritno. 1996. Prospek pengembangan sorgum manis untuk menunjang pembangunan agroindustri di lahan kering. Makalah Lokakarya Nasional Pertanian Lahan Kering Beberapa Kawasan Pembangunan Ekonomi Terpadu di Kawasan Timur Indonesia. Malang, 10-12 Oktober 1996.
- Sumaryono, W. 2006. Kajian komprehensif dan teknologi pengembangan bioetanol sebagai bahan bakar nabati (BBN). Seminar Bioenergi: Prospek Bisnis dan Peluang Investasi. Jakarta, 6 Desember 2006. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Jakarta.
- Teetor, V.H., D.V. Duclos, E.T. Wittenberg, K.M. Young, J. Chawhuaymak, M.R. Riley, D.T. Ray. 2011. Effects of planting date on sugar and ethanol yield of sweet sorghum grown in Arizona. Industrial Crops and Products 34: 1293-1300.
- Tesso, T.T., L.E. Clafin, and M.R. Tuinstra. 2005. Analysis of stalk rot resistance and genetic diversity among drought tolerant sorghum genotypes. Crop Sci. 45: 645-652.
- Tew, T.L., R.M. Cobill, E.P. Richard. 2008. Evaluation of sweet sorghum and sorghum × sudangrass hybrids as feedstocks for ethanol production. Bioenergy Res. 1: 147-152.
- Tsuchihashi, N. and Y. Goto. 2005. Internode characteristics of sweet sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] during dry and rainy seasons in Indonesia. Plant Prod. Sci. 8(5): 601-607.
- Tsuchihashi, N. and Y. Goto. 2008. Year-round cultivation of sweet sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] through a combination of seed and ratoon cropping in Indonesia savanna. Plant Prod. Sci. 11(3): 377-384.
- Vasilakoglou I., K. Dhima, N. Karagiannidis, and T. Gatsis. 2011. Sweet sorghum productivity for biofuels under increased soil salinity and reduced irrigation. Field Crops Research 120: 38-46.
- Whitfield M.B., M.S. Chinn, and M.W. Veal. 2011. Processing of materials derived from sweet sorghum for biobased products. Industrial Crops and Products 37:362-375.
- Wu, X., S. Staggenborg, J.L. Prophet, W.L. Rooney, J. Yu, and D. Wang. 2011. Features of sweet sorghum juice and their performance in ethanol fermentation. Industrial Crops and Products 31:164-170.
- Yudiarto, M.A. 2006. Pemanfaatan sorgum sebagai bahan baku bioetanol. Fokus Grup Diskusi Prospek Sorgum dalam Mendukung Ketahanan Pangan dan Energi. Serpong, 5 September 2006.