

EVALUASI KANDUNGAN BRIX PADA BATANG TANAMAN PLASMA NUTFAH SORGUM (*Sorghum bicolor* L. (Moench))

Brix Content Evaluation of Sorghum Stem Germplasm (Sorghum bicolor L. (Moench))

Kristina Dwiatmini, Andari Risliawati, Dodin Kuswanudin, dan Sutoro

Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Sumber Daya Genetik Pertanian (BB Biogen)

Jalan Tentara Pelajar No. 3A Bogor 16111, Indonesia

Telp. (0251) 8338820, 8333440, Fax. (0251) 8338820

E-mail: atmini_kd@ymail.com

(Makalah diterima 24 November 2018 – Disetujui 03 Desember 2019)

ABSTRAK

Tanaman sorgum dapat dimanfaatkan sebagai sumber pangan, pakan, dan bahan industri. Selain biji, batang merupakan bagian tanaman sorgum yang dapat mengandung senyawa gula dan dimanfaatkan sebagai minuman sirup dan bahan baku bioethanol. Kandungan senyawa gula (kadar brix) ini dapat diukur dengan alat refraktometer. Dalam rangka menghasilkan varietas sorgum dengan kadar brix tinggi diperlukan sumber genetik untuk pemuliaannya, sehingga perlu dilakukan identifikasi kandungan brix pada plasma nutfah sorgum. Penelitian telah dilaksanakan terhadap 219 aksesi plasma nutfah sorgum koleksi Bank Gen Balitbangtan di BB Biogen, yang ditanam pada tahun 2017. Sampel batang tanaman sorgum dipotong menjadi 3 bagian yang sama panjangnya dan diukur kandungan brix dengan refraktometer. Hasil penelitian menunjukkan aksesi plasma nutfah sorgum dari batang bagian bawah, tengah, dan atas memiliki kandungan brix bervariasi yaitu berkisar antara 0,2 – 15,1%. Aksesi sorgum introduksi ICSV 93051, ICSV 93032, ICSV 93047, ICSR 91026, ICSV 8906, dan ICSV 93007 memiliki kandungan brix lebih dari 14% yang dapat digunakan sebagai bahan pemuliaan sorgum manis. Genotipe yang memiliki sifat ganda yang mampu menghasilkan hasil biji dan kandungan brix tinggi, baik pada tanaman induk maupun ratun perlu mendapat perhatian.

Kata kunci: Bank Gen Balitbangtan, pemuliaan, plasma nutfah, sorgum manis

ABSTRACT

Sorghum can be used as food, feed, and industrial materials. Other than seed, sorghum stems also contain sugar compounds that can be used as a beverage of syrup and raw materials of bioethanol. The content of sugar compounds (brix content) can be measured by a refractometer. Genetic resources are needed to develop sorghum varieties that produce high brix content through plant breeding programs. Therefore, identification of brix content on sorghum germplasm needs to be done. A study has been conducted on 219 germplasm accessions of IAARD Gene Bank collection at BB BIOGEN, planted in 2017. The stem of the sorghum plant was cut into 3 equal lengths and brix content was measured by refractometer. The results showed that the accession of the sorghum germplasm from the lower, middle, and upper stems had a varied brix content from 0.2 to 15.1%. Introduction accession of sorghum i.e. ICSV 93051, ICSV 93032, ICSV 93047, ICSR 91026, ICSV 8906, and ICSV 93007 had a brix content of more than 14% and can be used as parent materials for sweet sorghum breeding. Multiple traits of genotype which are capable of producing seed yield and brix content in both primary plants and ratoon need further attention.

Key words: IAARD Gene Bank, breeding, germplasm, sweet sorghum

PENDAHULUAN

Tanaman sorgum sebagai sumber pangan telah lama dibudidayakan di Indonesia. Tanaman sorgum termasuk tanaman yang lebih adaptif pada kondisi kekeringan dibandingkan tanaman lain, seperti jagung dan tebu (Almodares dan Hatampour, 2011). Hal ini terjadi karena pada daun tanaman sorgum memiliki lapisan lilin yang dapat mengurangi transpirasi tanaman. Dari tanaman sorgum pada saat panen dapat menghasilkan jerami (berupa batang dan daun) dan biji sorgum. Biji sorgum dimanfaatkan sebagai sumber pangan, pakan, dan bahan industri. Batang tanaman sorgum umumnya mengandung senyawa gula, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai minuman sirup dan bahan baku bioethanol. Bahan baku ethanol dari sorgum dapat berupa nira batang tanaman sorgum, ampas dari perasan hasil nira yang difermentasi, dan biji sorgum (Pabendon *et al.*, 2012). Pemupukan N tidak mempengaruhi kandungan gula pada sorgum manis (Uchino *et al.*, 2013)

Untuk mengetahui kandungan senyawa gula pada batang tanaman sorgum dapat dilakukan dengan mengukur kadar brix dengan alat refraktometer. Alat refraktometer merupakan alat yang dapat digunakan untuk mengukur besarnya konsentrasi larutan gula terutama sukrosa (Hidayanto *et al.*, 2010). Kandungan brix dalam larutan dinyatakan dalam persen (%) merupakan perbandingan kandungan sukrosa dalam larutan (gram sukrosa/gram larutan). Satuan brix sering juga digunakan dalam minuman anggur, minuman berkarbon (*carbonated beverage*), jus buah, sirup, dan industri madu (Wikipedia, 2020). Kandungan brix berkorelasi tinggi-positif yang nyata dengan konsentrasi total gula dan sukrosa, sedangkan glukosa berkorelasi positif dengan fruktosa (Kawahigashi *et al.*, 2013). Untuk menghasilkan varietas sorgum yang dapat menghasilkan brix tinggi diperlukan sumber genetik untuk pemuliaan tanaman sorgum. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan brix pada tanaman sorgum bervariasi antar varietas (Tsuchihashi dan Goto, 2004; Pabendon *et al.*, 2012; Kawahigashi *et al.*, 2013; Oyier *et al.*, 2017; Chalachew dan Rebuma, 2018) dan berbeda antar varietas secara molekuler (Sombo, 2016; Murray *et al.*, 2008). Sumber gen untuk pemuliaan tanaman dapat diperoleh dari koleksi plasma nutfah sorgum yang dimiliki oleh Bank Gen Balitbangtan yang berasal dari introduksi, varietas lokal, dan varietas unggul yang telah dilepas. Namun informasi kandungan brix dari aksesori-aksesori koleksi plasma nutfah sorgum belum ada, sehingga perlu dilakukan identifikasi aksesori yang memiliki kandungan brix tinggi.

Data kandungan brix tanaman sorgum umumnya diperoleh dari seluruh bagian batang tanaman, tidak berdasarkan bagian-bagian batang tanaman. Berdasarkan pengamatan Shukla *et al.* (2017) kandungan brix pada

ruas batang bawah cenderung lebih tinggi dari pada ruas bagian atas. Tujuan dari penelitian untuk mengetahui keragaman kandungan brix pada bagian batang tanaman dari koleksi plasma nutfah sorgum, serta melakukan identifikasi aksesori yang dapat dimanfaatkan untuk menunjang kegiatan pemuliaan sorgum manis.

MATERI DAN METODE

Penelitian telah dilaksanakan terhadap 219 aksesori plasma nutfah sorgum koleksi Bank Gen Balitbangtan di BB Biogen. Bahan batang tanaman diperoleh dari pertanaman regenerasi/rejuvenasi koleksi sorgum yang bijinya telah masak pada tahun 2017. Varietas yang ditanam merupakan varietas lokal, unggul, dan introduksi dari ICRISAT dengan kode nomor diawali ICS. Biji sorgum ditanam pada jarak tanam 75 cm x 20 cm dengan 1 tanaman tiap lubang di Kebun Percobaan Cikeumeuh, Bogor. Pupuk diberikan secara ditugal di samping tanaman dengan takaran pupuk setara 200 kg Urea, 100 kg SP36, dan 50 kg KCl per hektar. Sepertiga takaran pupuk Urea, seluruh takaran pupuk P dan K diberikan 1 minggu setelah tanam, dan sisanya dua-pertiga takaran pupuk Urea diberikan pada saat tanaman berumur 1 bulan.

Pengukuran kandungan brix menggunakan alat *ATC-brix refractometer* secara langsung pada batang tanaman sorgum pada saat biji telah masak; yang ditandai dengan biji sorgum yang terletak paling bawah dari malai telah mengeras atau terdapat lapisan hitam. Pada kondisi ini kandungan brix sudah tetap (Atokple *et al.*, 2014). Tiap aksesori diambil 3 batang tanaman sampel. Tiap sampel batang tanaman sorgum dipotong menjadi 3 bagian yang sama panjangnya, dan selanjutnya disebut batang bawah, tengah, dan atas. Lalu pada setiap batang bawah, tengah, dan atas diukur kandungan brix batang.

Data yang diperoleh dianalisis statistik deskriptif untuk mengetahui gambaran keragaman data brix batang bagian bawah, tengah, dan atas. Analisis kluster untuk mengelompokkan aksesori-aksesori yang berdekatan karakteristik kandungan brixnya, dilakukan dengan metode pautan rata-rata (*average linkage*) dan jarak euclidus dengan software Minitab 16. Jarak euclidus antar variabel dapat digunakan bila variabel bersifat bebas (tidak berkorelasi). Untuk mendapatkan variabel yang bebas diperoleh melalui analisis komponen utama.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi Aksesori Plasma Nutfah Sorgum

Hasil evaluasi kandungan brix pada 219 aksesori plasma

nutfah sorgum pada batang bagian bawah, tengah, dan atas disajikan pada Tabel 1. Nilai kisaran kandungan brix dalam penelitian ini lebih lebar (0,0 –15,1%) dibanding dengan hasil penelitian Pabendon *et al.* (2012) yang mendapatkan nilai kisaran kandungan brix 7,67–12,56%, sedangkan Atokple *et al.* (2014) dalam penelitian dari berbagai sumber plasma nutfah sorgum mendapatkan kisaran brix 6,2–21,4 %, dan kisaran 3,3–16,2% dalam batang sorgum biji dan sorgum manis (Ishikawa *et al.*, 2017). Akumulasi gula (sukrosa, glukosa, dan fruktosa) di dalam batang sorgum terjadi setelah keluar malai/ anthesis (Kawahigashi *et al.*, 2013). Rata-rata kandungan brix pada batang bagian bawah, tengah, dan atas berturut-turut sebanyak 8,7; 8,6; dan 8,7%. Pada tanaman sorgum tipe pendek dan tinggi hampir sama kandungan brix antar bagian batang tanaman sorgum (Shukla *et al.*, 2017).

Aksesi plasma nutfah sorgum yang memiliki kandungan rata-rata dari batang bagian bawah, tengah, dan atas paling rendah yaitu aksesi Bulir Lurus-1 (0,6%), sedangkan yang memiliki rata-rata kandungan brix paling tinggi yaitu aksesi ICSV 93051 (15,0%). Besarnya koefisien keragaman kandungan brix aksesi plasma nutfah sorgum relatif tinggi sekitar 40–45%, dengan nilai rata-rata brix yang hampir sekitar 8,6–8,7%. Hasil analisis korelasi kandungan brix yang berasal dari batang bagian bawah dengan bagian tengah atau bagian atas menunjukkan korelasi yang nyata pada taraf 1% ($r=0.768^{**}$ antara bagian bawah dengan tengah, $r=0,773^{**}$ antara bagian bawah dengan atas, dan $r=0.763^{**}$ antara bagian tengah dengan atas). Hal ini menunjukkan bahwa bila semakin tinggi kandungan brix bagian bawah umumnya diikuti oleh kandungan brix yang tinggi pula pada batang bagian tengah dan atas.

Pengelompokan Plasma Nutfah Sorgum Berdasarkan Kandungan Brix

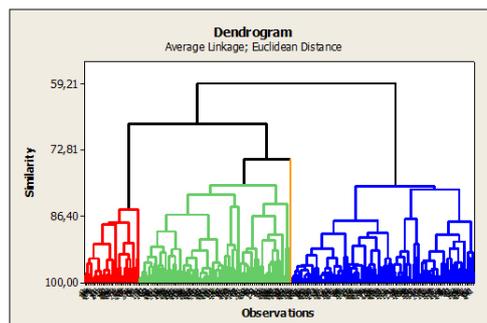
Hasil analisis korelasi antar variabel menunjukkan adanya korelasi yang nyata. Dengan demikian untuk analisis kluster menggunakan komponen utama. Dari analisis komponen utama menunjukkan bahwa komponen utama pertama (PC1) telah dapat menjelaskan keragaman sebanyak 84.6% (PC1 = 0,578 brix bawah + 0,576 brix tengah + 0,578 brix atas), dan komponen utama kedua (PC2) sebesar 7,9% (PC2 = -0,267 brix bawah + 0,803 brix tengah – 0,534 brix atas) dari total keragaman data kandungan brix batang tanaman sorgum. Kontribusi kandungan brix pada setiap bagian memberikan kontribusi yang hampir sama pada komponen utama pertama, sedangkan komponen utama kedua variabel kandungan brix bagian tengah lebih banyak kontribusinya dibandingkan dengan kandungan brix bagian atas dan bawah. Dengan demikian dengan 2 komponen utama yaitu komponen utama pertama dan kedua telah dapat menjelaskan keragaman data sebanyak 92,5%. Selanjutnya analisis kluster aksesi-aksesi plasma nutfah sorgum menggunakan variabel skor komponen utama pertama dan kedua.

Analisis kluster dengan menggunakan kedua komponen utama karakter kandungan brix dengan kemiripan 75% menghasilkan 4 kelompok. Dendrogram hasil analisis kluster disajikan pada Gambar 1. Kelompok pertama terdiri atas 31 aksesi, kelompok kedua terdiri atas 84 aksesi, kelompok ketiga terdiri atas 103 aksesi, dan kelompok keempat terdiri atas hanya 1 aksesi.

Hasil analisis ragam antar kluster dari kandungan brix menunjukkan terdapat perbedaan yang nyata di antara

Tabel 1. Statistik deskriptif kandungan brix (%) batang sorgum

Statistik deskriptif	Batang bawah	Batang tengah	Batang atas
Minimum	0,2	0,0	0,0
Maksimum	15,0	15,1	15,0
Rata-rata	8,7	8,6	8,7
Standard deviasi	3,6	3,8	3,8
CV (%)	40,9	44,5	44,5



Gambar 1. Dendrogram plasma nutfah sorgum berdasarkan karakter brix pada batang tanaman

kluster sorgum. Rata-rata kandungan brix pada batang bagian bawah, tengah, dan atas dari setiap kluster/kelompok disajikan pada Tabel 2. Berdasarkan nilai rata-rata kandungan brix, kluster pertama dicirikan oleh kandungan brix yang rendah (sekitar 3%) pada setiap bagian batang tanaman. Kluster kedua merupakan aksesori-aksesori yang memiliki kandungan brix sedang (sekitar 7%). Kluster ketiga memiliki anggota terbanyak yang terdiri atas 103 aksesori plasma nutfah sorgum yang memiliki kandungan brix tinggi (sekitar 11%). Kluster keempat adalah aksesori yang memiliki kandungan brix pada batang bagian tengah tinggi, sedangkan bagian lainnya rendah (Tabel 2).

Diagram titik aksesori dalam kluster (Gambar 2) menunjukkan bahwa kluster pertama, kedua, dan ketiga dapat dibedakan berdasarkan skor komponen utama pertama (PC1), sedangkan perbedaan kluster kedua dengan kluster keempat dapat dibedakan berdasarkan nilai skor komponen utama kedua (PC2). Pada kluster ketiga yang memiliki skor komponen utama pertama (PC1) yang besar dan variabel nilai brix batang bagian bawah, tengah, dan atas memiliki kontribusi yang sama dalam komponen utama pertama. Oleh karena itu kluster ketiga merupakan aksesori yang memiliki kandungan brix batang bagian bawah, tengah, dan atas yang tinggi dan ini juga ditunjukkan rata-rata kandungan brix yang tinggi yang disajikan pada Tabel 2.

Aksesori plasma nutfah sorgum dari kluster ketiga merupakan aksesori yang memiliki kandungan brix tinggi pada semua bagian batang tanaman sorgum, sehingga aksesori di dalam kluster ini dapat dijadikan sebagai sumber gen untuk perbaikan varietas sorgum manis.

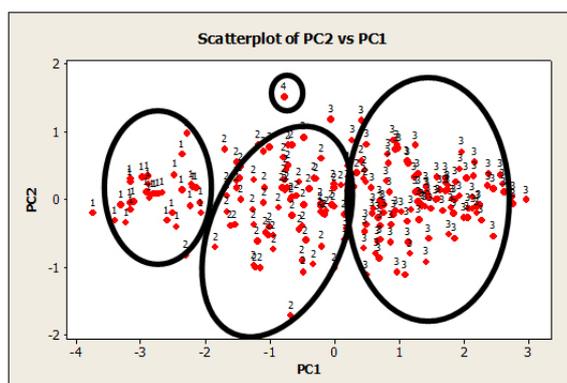
Aksesori-aksesori plasma nutfah sorgum introduksi dari lembaga penelitian ICRISAT (*International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics*) India yang memiliki kandungan brix tinggi lebih dari 14% dan sebagian aksesori plasma nutfah (varietas unggul dan lokal) dengan kandungan brix rendah (2-4%) disajikan pada Tabel 3. Sebagai perbandingan kandungan brix aksesori introduksi dengan varietas sorgum yang telah dilepas dan varietas lokal disajikan pada Gambar 3. Varietas sorgum No. 6C dan Numbu yang dilepas sebagai sorgum untuk dipanen bijinya, memiliki kandungan brix sekitar 10–12%, sedangkan varietas lokal 8–13% masih relatif lebih rendah daripada aksesori introduksi. Hasil penelitian Pabendon (2012), sorgum varietas Numbu memiliki kandungan brix 9,83% lebih rendah dari hasil penelitian ini yang menghasilkan kandungan brix batang bawah, tengah, dan atas berturut-turut 10,7; 10,2; dan 12,3%. Perbedaan ini diduga karena perbedaan lingkungan, terutama perbedaan lahan dan musim tanam (Erickson *et al.*, 2011), karena perbedaan jarak tanam tidak berpengaruh nyata (Puspitasari *et al.*, 2012). Aksesori ICSV 93051 menghasilkan kandungan brix yang relatif tinggi 15%, lebih tinggi dari hasil penelitian Efendi *et al.* (2013) yang mendapatkan genotipe 15105B terbaik yang memiliki kandungan gula brix berkisar 9,0-12,7%.

Plasma nutfah sorgum yang memiliki kandungan brix tinggi dan rendah seperti yang disajikan pada Tabel 3, dapat dimanfaatkan untuk studi molekuler. Hasil penelitian Audilakshmi *et al.* (2010) mendapatkan informasi bahwa aksi gen yang mengendalikan brix dan kandungan sukrosa cenderung bersifat dominan, sedangkan berat batang dan nira serta tinggi tanaman

Tabel 2. Kandungan brix (%) plasma nutfah sorgum antar kluster

Kluster ke-	N	Bawah	Tengah	Atas
1	31	3,00 c	2,78 c	2,40 c
2	84	7,40 b	6,97 b	7,19 b
3	103	11,49 a	11,57 a	11,78 a
4	1	4,83 bc	11,67 ab	4,50 bc
Rata-rata	219	8,7	8,6	8,7

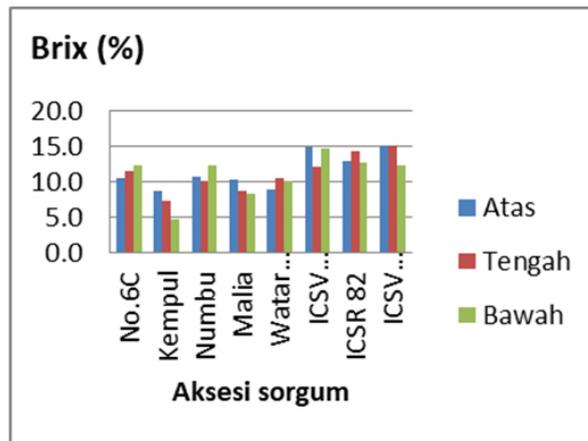
*Angka-angka yang diikuti dengan huruf yang sama dalam kolom yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan yang nyata menurut uji Tukey (HSD) pada taraf 5%.



Gambar 2. Diagram titik aksesori dalam kluster berdasarkan skor komponen utama PC1 dan PC2

Tabel 3. Kandungan brix batang tanaman sorgum dari aksesi introduksi

Aksesi	Kandungan brix (%)			Rata-rata (%)
	Bawah	Tengah	Atas	
Aksesi brix tinggi				
ICSV 93051	15,0	15,0	15,0	15,0
ICSV 93032	14,8	14,3	14,5	14,6
ICSV 93047	14,7	14,7	14,3	14,6
ICSR 91026	13,8	14,7	14,3	14,3
ICSV 8906	13,7	15,0	14,0	14,2
ICSV 93007	15,0	15,0	12,3	14,1
Aksesi brix rendah				
Badik	0,5	3,7	3,2	2,4
Keris	2,5	3,0	1,2	2,2
Sangkur	3,9	4,4	3,7	4,0
Watar Solor Mea	5,0	2,2	2,3	3,2
Watar Solor Mete	4,2	4,3	3,0	3,8
Watar Tumbu Lamba	3,7	1,3	0,7	1,9



Gambar 3. Kandungan brix plasma nutfah sorgum bagian batang bawah, tengah, dan atas pada varietas unggul, lokal, dan introduksi

bersifat over dominan dan poligenik. Ketika persentasi kandungan gula pada batang yang tinggi menunjukkan aksi gen yang diturunkan secara dominan, maka pemuliaan sebaiknya ditujukan untuk mendapatkan sorgum hibrida, oleh karena itu seleksi galur dengan kandungan brix tinggi secara praktis dapat dilakukan pada generasi awal.

Perbaikan varietas sorgum dengan brix tinggi, kriterianya berdasarkan berat biomasa batang dan kandungan brix pada nira batang untuk mendapatkan sorgum manis yang berpotensi untuk bioethanol (Pabendon *et al.*, 2012). Tinggi tanaman, panjang batang, dan jumlah ruas batang berkorelasi positif yang nyata dengan kandungan gula dalam batang tanaman sorgum (Zou *et al.*, 2011). Sorgum dapat dimanfaatkan biji dan nira dari batang tanamannya. Sorgum yang memiliki kedua karakter tersebut sangat perlu dikembangkan, karena terdapat genotipe yang unggul dalam hasil biji dan juga hasil gula dalam batang (Atokple *et al.*, 2014; Oyier *et al.*, 2017; Ekefre *et al.*, 2017). Pertanaman sorgum dapat diratun setelah tanaman induk dipanen, tanaman dipangkas dan akan tumbuh tunas baru sebagai tanaman hasil ratun. Hasil biji sorgum pada tanaman induk dan

tanaman ratun tidak berbeda (Puspitasari *et al.*, 2012). Namun tidak demikian dengan biomasa dan kandungan nira. Terdapat genotipe yang memiliki potensi produksi biomasa segar yang tinggi dari tanaman induknya (Kering *et al.*, 2017), tetapi hasil tanaman ratun dan kandungan gula brix nira batangnya rendah (Efendi *et al.*, 2013).

KESIMPULAN

Kandungan brix koleksi plasma nutfah sorgum bervariasi antar aksesi dan dapat dikelompokkan ke dalam golongan plasma nutfah sorgum kandungan brix tinggi (rata-rata 11%), brix sedang (rata-rata 7%), dan brix rendah (sekitar 3%). Aksesi sorgum introduksi ICSV 93051, ICSV 93032, ICSV 93047, ICSR 91026, ICSV 8906, ICSV 93007 memiliki kandungan brix lebih dari 14% yang dapat dipergunakan sebagai bahan pemuliaan sorgum manis. Kandungan brix batang bagian atas, tengah, dan bawah hampir sama. Genotipe yang mampu menghasilkan hasil biji dan kandungan brix baik pada tanaman induk maupun ratun perlu mendapat perhatian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada BB Biogen yang telah memberi dukungan dalam pembiayaan kegiatan penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada litkayasa Kelti PSDG BB Biogen, Bapak Mat Sohan dan Sujarno yang telah membantu dalam produksi data di penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Atokple, I.D.K., G.K. Oppong, and S.K Chikpah. 2014. Evaluation of grain and sugar yields of improved sweet sorghum (*Sorghum bicolor*) varieties in the guinea savanna zone of Ghana. *Pinnacle Agricultural Research and Management* 2 (2): 374-382.
- Almodares A. and M.S. Hatamipour. 2011. Planting sweet sorghum under hot and dry climatic condition for bioethanol production. *World Renewable Energy Congress* 8-13 May 2011. Sweden: Bioenergy Technology.
- Audilakshmi, S., A.K. Mall, M. Swarnalatha, and N. Seetharama. 2010. Inheritance of sugar concentration in stalk (brix), sucrose content, stalk, and juice yield in sorghum. *Biomass and Bioenergy* 34 (6): 813-820.
- Chalachew, E. and M. Rebuma. 2018. Productivity of sweet sorghum genotypes under contrasting fertility management for food and ethanol production. *Advances in Crop Science and Technology* 6 (2): 1-7.
- Efendi, R., M. Aqil, B. Marcia, dan Pabendon. 2013. Evaluasi genotipe sorgum manis (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) produksi biomas dan daya ratun tinggi. *Jurnal Penelitian Pertanian* 32 (2) : 116-125.
- Ekefre D.E., A.K. Mahapatramahapatra, M. Latimore Jr., D.D. Bellmer, U. Jena, G.J. Whitehead, and A.L. Williams. 2017. Evaluation of three cultivars of sweet sorghum as feedstocks for ethanol production in the Southeast United States. *Energy, Applied Sciences, Environmental Science* 3 (12): e00490. doi: 10.1016/j.heliyon.2017.e00490.
- Erickson, J.E., Z.R. Helselb, K.R. Woodarda, J.M.B Vendraminic, Y. Wang, L.E Sollenbergera, and R.A Gilbert. 2011. Planting date affects biomass and brix of sweet sorghum grown for biofuel across florida. *Agron. J.* 103 (6): 1827-1833.
- Hidayanto, E., A. Rofiq, dan H. Sugito. 2010. Aplikasi portable brix meter untuk pengukuran indeks bias. *Berkala Fisika* 13 (4): 113-118.
- Ishikawa, T., T. Tsukamoto, H. Kato, K. Shigeta, and K. Yakushido. 2017. Agronomic factors affecting the potential of sorghum as a feedstock for bioethanol production in the Kanto region, Japan. *Sustainability* 9 (6): 937-957.
- Kawahigashi, H., S. Kasuga, H. Okuizumi, S. Hiradate, and J. Yonemaru. 2013. Evaluation of brix and sugar content in stem juice from sorghum varieties. *Grassland Science* 59 (1): 11-19.
- Kering, M.K., V.W. Temu, and L.K. Rutto. 2017. Nitrogen fertilizer and panicle removal in sweet sorghum production: effect on biomass, juice yield and soluble sugar content. *Journal of Sustainable Bioenergy Systems* 7: 14-26.
- Murray S.C., W.L. Rooney, M.T. Hamblin, S.E. Mitchell, and S. Kresovich. 2008. Sweet sorghum genetic diversity and association mapping for brix and height. *The Plant Genome Journal* 2 (1): 48. doi: 10.3835/plantgenome2008.10.0011.
- Oyier, M.O., J.O. Owuochi, M.E Oyoo, E. Cheruiyot, B. Mulianga, and J. Rono. 2017. Effect of harvesting stage on sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L.) genotypes in Western Kenya. *The Scientific World Journal*. pp. 1-10.
- Pabendon, M.B., R.S. Sarungallo, dan S. Mas'ud, 2012. Pemanfaatan nira batang, bagas, dan biji sorgum manis sebagai bahan baku bioetanol. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 31 (3): 180-187.
- Puspitasari, G.N., D. Kastono, dan S. Waluyo. 2012. Pertumbuhan dan hasil sorgum manis (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) tanam baru dan ratun pada jarak tanam berbeda. *Vegetalika* 1 (4): 18-29.
- Shukla S., T.J. Felderhoff, A. Saballos, and W. Vermerris. 2017. The relationship between plant height and sugar accumulation in the stems of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Field Crops Research* 203:181-191. doi.org/10.1016/j.fcr.2016.12.004.
- Sombo, C. 2016. Assessment of sweet sorghum lines for genetic diversity using quantitative traits and SSR markers. Thesis. Republic of South Africa: University of KwaZulu-Natal. 102 p.
- Tsuhihashi, N. and Y. Goto. 2004. Cultivation of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) and determination of its harvest time to make use as the raw material for fermentation, practiced during rainy season in dry land of Indonesia. *Plant Production Science* 7 (4): 442-448. doi: 10.1626/pp.s.7.442.
- Uchino, H., T. Watanabe, K. Ramu, K.L. Sahrawat, S. Marimuthu, S.P. Wani, and O. Ito. 2013. Effects of nitrogen application on sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in the Semi-Arid Tropical Zone of India. *JARQ* 47 (1): 65-73..
- Wikipedia. 2020. Brix. [Online] Tersedia pada <https://en.wikipedia.org/wiki/Brix>. Diakses pada 6 November 2020.
- Zou, G., S. Yan, G. Zhai, Z. Zhang, J. Zou, and Y. Tao. 2011. Genetic variability and correlation of stalk yield-related traits and sugar concentration of stalk juice in a sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) population. *Australian Journal of Crop Science* 5 (10): 1232-1238.