

# Kajian Sumber Bahan Bakar Nabati Berbasis Sorgum Manis

Marcia B. Pabendon, M. Aqil, dan S. Mas'ud

Balai Penelitian Tanaman Serealia  
Jl. Dr. Ratulangi 274 Maros, Sulawesi Selatan  
Email: marcia.pabendon@gmail.com

---

Naskah diterima 1 Desember 2011 dan disetujui diterbitkan 9 November 2012

---

## ABSTRACT

**Sweet Sorghum as an Efficient Source of Bioenergy.** Sweet sorghum has potential as a crop for producing energy to substitute fossil fuel through the production of ethanol, extracted from the biomass. To produce ethanol not only the stalks of sweet sorghum that can be used, the bagasse and the grains are also readily to be processed into ethanol. Sweet sorghum could be grown on the existing dry lands so there is no need for clearing the rainforests. Sweet sorghum is considered easier and cheaper to grow than are other biofuel crops, and it does not require irrigation, so it could be planted in dry areas.

**Keywords:** Sweet sorghum, biofuel, juice, bagasse, grain.

## ABSTRAK

Sorgum manis merupakan tanaman yang dapat dipertimbangkan sebagai bahan bakar etanol melalui ekstraksi. Sorgum mempunyai beberapa kelebihan, etanol bisa diperoleh dari batang, sedangkan biji dapat untuk pangan atau pakan. Produksi biji belum merupakan komoditas pangan utama, sehingga tidak mengganggu keamanan pangan jika sebagian hasil biji dimanfaatkan untuk bahan etanol. Bagas juga dapat menghasilkan etanol yang dapat memberi nilai tambah terhadap sorgum manis sebagai komoditas biofuel. Sorgum manis adaptif pada lahan kering sehingga lebih murah untuk diproduksi dibandingkan dengan tanaman biofuel lainnya.

Kata kunci: Sorgum manis, bahan bakar nabati, nira, bagas, biji.

## PENDAHULUAN

Sorgum manis (*Sorghum bicolor* L. Moench) beradaptasi luas pada lingkungan yang beragam dan mampu berproduksi pada lahan marginal. Batang sorgum manis memiliki kadar gula lebih tinggi dibandingkan dengan jenis sorgum lain dan potensial sebagai bahan baku etanol atau etil-butyl eter sebagai aditif oktan untuk bensin. Pada tahun 1850-an sorgum manis diperkenalkan ke Amerika untuk sirup (Winberry 1980) dan produksi memuncak menyusul terjadinya kelangkaan gula selama Perang Dunia II, yaitu sekitar 136 juta liter sirup per tahun hingga tahun 1946 (Hunter and Anderson 1997), setelah itu menurun karena harga gula rendah. Sorgum manis dapat bersaing dengan jagung dan sorgum penghasil biji dalam menghasilkan etanol dan relatif efisien dalam penggunaan pupuk nitrogen (Smith and Buxton 1993). Sorgum manis juga dapat menggantikan jagung dan sorgum biji dalam sistem pertanian tumpangsari. Penggunaan karbohidrat yang

tersimpan pada batang sorgum dalam bentuk gula dengan konsentrasi 8-20% lebih menguntungkan daripada pati (Rains et al. 1990). Konversi gula menjadi etanol membutuhkan energi lebih sedikit dibandingkan dengan pati yang menggunakan banyak energi untuk dipolimerisasi menjadi etanol.

Makalah ini membahas potensi sorgum manis sebagai bahan baku *biofuel*, baik yang bersumber dari nira, biji, maupun bagas (ampas batang setelah nira diperas).

## POTENSI SORGUM MANIS

Sorgum (batang) manis sama dengan sorgum biji dengan potensi hasil 3-7 t/ha (Almodares and Mostafafi 2006). Tetapi esensi dari sorgum manis bukan dari biji melainkan batangnya yang mengandung kadar gula tinggi (Almodares et al. 2008). Pada daerah kering di Cina, India, dan Afrika

Selatan, salah satu tanaman yang paling menjanjikan untuk bahan bakar adalah sorgum (Zhang *et al.* 2010). Hasil sorgum manis sangat bervariasi, bergantung pada varietas, lokasi tumbuh (tanah, air, iklim, hama, dan penyakit), input, dan perlakuan agronomi. Pada saat memilih sorgum manis untuk produksi etanol, karakteristik penting yang perlu menjadi perhatian adalah biomassa, nira, dan gula yang dihasilkan per satuan luas.

Sorgum manis untuk bahan baku bioetanol dicirikan oleh akumulasi karbohidrat terfermentasi (FC) tinggi dalam batang (15-25%) (Sarath *et al.* 2008, Smith *et al.* 1987). Total FC terdiri atas tiga komponen gula utama, yaitu sukrosa (70%), glukosa (20%), dan fruktosa (10%), bergantung pada varietas dan kondisi lingkungan tumbuh (Prasad *et al.* 2007). Sorgum manis menggunakan air lebih sedikit tetapi mengandung FC lebih tinggi dibandingkan dengan jagung, sehingga sebagai tanaman biofuel yang menguntungkan adalah dikembangkan pada daerah semi kering (Reddy *et al.* 2007). Kandungan gula tertinggi pada sorgum manis diperoleh jika dipanen pada saat biji matang fisiologis. Sorgum ditanam dengan jarak tanam agak jarang 75 cm x 30 cm atau 75 cm x 40 cm, 3-4 biji per lubang dan ditumbuhkan 1-2 tanaman per rumpun. Hal tersebut dimaksudkan untuk menghindari diameter batang tumbuh menjadi kecil. Jika populasi tanaman terlalu tinggi, diameter batang akan kecil sehingga produksi nira dalam batang rendah (Shoemaker and Bransby 2010).

Varietas sorgum manis dapat menghasilkan 24-56 t/ha biomas segar (Almodares *et al.* 2008). Putnam *et al.* (1991) mengevaluasi 13 varietas sorgum manis, dengan hasil total bobot biomas kering 16-36 t/ha, kadar gula *brix* hasil ekstraksi 5,8-13,7%, kadar air batang 67-76%, hasil ekstraksi gula FC 2,3-7,0 t/ha, bervariasi antarvarietas. Tanaman sorgum manis membutuhkan hara nitrogen kurang dari 50% dari total nitrogen untuk memproduksi hasil yang sama dengan jagung untuk etanol (Anderson *et al.* 1995) dan menghemat 62% dari total nitrogen tanpa perbedaan bobot kering. Sorgum manis yang menghasilkan 11-16 t/ha biomas kering akan menyerap hara nitrogen, fosfor, dan kalium masing-masing 112 kg, 45 kg, dan 202 kg/ha.

Produksi etanol dari sorgum manis (5600 l/ha tahun pertama dari 140 t/ha bobot biomas pada 2 musim tanam tahun pertama), sebanding dengan produksi etanol dari tebu (6.500 l/ha dari 80-90 t/ha bobot biomas tanaman). Hasil dan kualitas karakteristik sorgum manis dan tebu berbeda sesuai dengan kondisi lingkungan dan musim tanam (Hipp *et al.* 1970, Broadhead 1972). Pada kondisi yang menguntungkan, sorgum manis dapat menghasilkan hingga 13 t/ha gula.

## BAHAN BAKAR NABATI DARI SORGUM MANIS

Bagian tanaman sorgum yang dapat diolah menjadi bahan bakar nabati adalah nira, jerami, bagas, dan bijinya.

### Nira Sorgum

Nira sorgum manis tidak dapat digunakan untuk produksi gula kristal karena kandungan glukosa dan fruktosa dalam proses kristalisasi sulit terbentuk. Namun gula sorgum kaya akan gula yang difermentasi, sehingga memiliki potensi yang sangat besar untuk fermentasi dengan menggunakan ragi (Woods 2000).

Nira sorgum manis diperoleh secara mekanis, menggunakan mesin *roller* yang terdiri dari satu silinder, mirip dengan yang digunakan pada pabrik gula tebu. Air yang ditambahkan pada tahap terakhir dari proses penghancuran bahan bertujuan untuk menambah solubilisasi gula residu. Hasil panen cairan manis sorgum sekitar 50% dari bobot awal tanaman (batang) (Wu *et al.* 2010). Sekitar 90% dari gula hasil fermentasi batang sorgum dapat diperoleh dari penggilingan *roller* konvensional, yang menghasilkan rasio ekstraksi 0,7, dibandingkan dengan bobot tanaman awal (Almodares and Hadi 2009), sedangkan Gnansounou *et al.* (2005) melaporkan rasio ekstraksi 0,59-0,65 untuk sorgum manis varietas Kelley, Wray, Río, dan Tianza. Ekstraksi sorgum berkisar antara 47-58%, hampir sama dengan hasil yang diperoleh kelompok peneliti dari Meksiko Tengah. Setelah diekstraksi, nira sorgum difermentasi, disuling, kemudian etanol yang diperoleh didehidrasi. Ini adalah cara paling sederhana untuk menghasilkan bahan bakar etanol, sedangkan biji dan bagas yang masing-masing mengandung komponen pati dan serat memerlukan proses hidrolisis asam menjadi gula terfermentasi. Langkah-langkah tersebut relatif lebih mahal karena membutuhkan waktu lebih lama dan mengeluarkan energi dan sumber daya tambahan lainnya (enzim, reagen kimia, dan lain-lain).

Kendala utama yang dihadapi adalah tingkat degradasi gula yang relatif tinggi pada suhu kamar dan kandungan nitrogen rendah pada saat pertumbuhan ragi (Mei *et al.* 2009, Wu *et al.* 2010). Dengan demikian, yang harus dipertimbangkan dan ditekankan adalah logistik pada saat pemanenan dan penyimpanan bahan baku yang dilengkapi dengan fasilitas yang mampu menghambat dekomposisi. Rendahnya ketersediaan nitrogen pada saat pertumbuhan ragi dapat diatasi dengan suplementasi ekstrak urea, ammonia, atau ragi untuk menghindari fermentasi yang lambat.

## Jerami dan Bagas Sorgum

Pengolahan bahan selulosa menjadi etanol kemungkinan akan meningkatkan nilai sorgum manis sebagai tanaman biofuel. Jika total biomassa di atas tanah dikonversi menjadi etanol, maka etanol yang dihasilkan dari sorgum manis diperkirakan 10.184 l, dari sorgum biji 6.770 l, dari jagung 7.477 l, dan dari rumput tahunan 7.073 l (Propheter and Staggenborg 2010).

Ampas hasil perasan sorgum manis atau bagas adalah fraksi residu yang diperoleh setelah ekstraksi nira dari sorgum manis, sedangkan jerami sorgum adalah bahan yang tersisa yang biasanya ditinggalkan di lapangan setelah perontokan biji. Komposisi dan proporsi fraksi berserat struktural pada sorgum telah banyak dilaporkan dan bervariasi sesuai dengan faktor intrinsik dan ekstrinsik seperti varietas, kematangan, dan kondisi iklim. Rata-rata 15% dari bobot total sesuai dengan porsi berserat berkisar antara 12-17% (Woods 2000). Sipos *et al.* (2009) mengemukakan bahwa selain larut dalam gula (sukrosa, glukosa, dan fruktosa), sorgum juga terdiri dari karbohidrat, dinding sel struktural terutama selulosa dan hemiselulosa, yang pada gilirannya dapat dihidrolisis dan digunakan sebagai substrat untuk produksi etanol. Dalam bagas sorgum manis, kandungan rata-rata selulosa, hemiselulosa, dan lignin masing-masing 34-44%, 27-35%, dan 18-20% (Ballesteros *et al.* 2003, Kim and Day 2011, Sipos *et al.* 2009). Komposisi kimia dari jerami sorgum manis dibandingkan dengan energi dari komoditas penghasil bioetanol lainnya seperti tebu, jagung, gandum, dan beras dapat dilihat pada Tabel 1.

Etanol dari selulosa memiliki keuntungan karena prosesnya lebih cepat dibandingkan dengan proses fermentasi secara tradisional. Namun produksi etanol dari selulosa relatif mahal karena membutuhkan hidrolisis asam dimana harga biomassa diperkirakan di atas harga bensin rata-rata jangka panjang (Badger 2002).

Tabel 1. Komposisi serat bahan baku etanol dari beberapa komoditas yang berbeda.

Bahan baku	Serat (%)	Selulose (%)	Hemiselulose (%)	Lignin (%)	Abu (%)
Sorgum manis	13,0	44,6	27,1	20,7	0,4
Jerami sorgum	-	32,4	27,0	7,0	0,7
Tebu	13,5	41,6	25,1	20,3	4,8
Brangkasan jagung	-	40,0	28,0	21,0	7,0
Jerami gandum	-	38,0	32,0	19,0	8,0
Jerami padi	-	36,0	28,0	14,0	20,0

Semua data dinyatakan dalam bobot kering. Persentase serat didasarkan pada 100% bahan asli, sedangkan serat, selulose, hemiselulose, lignin, dan abu adalah persentase dari total serat (Sumber: Serna-Saldivar *et al.* 2010).

## Biji Sorgum

Menurut laporan *the World Agricultural Supply dalam* Shoemaker dan Bransby (2010), perkiraan permintaan etanol di Amerika Serikat akan mencapai 26% dari penggunaan sorgum biji dalam negeri. Saat ini lebih dari sepertiga produksi sorgum biji di Amerika Serikat diproses melalui pabrik etanol sehingga industri bahan bakar terbarukan mengalami pertambahan nilai tercepat untuk industri sorgum.

Diperkirakan hasil etanol dari biji sorgum sebanding dengan etanol dari biji jagung. Saat ini bahan baku untuk produksi etanol komersial 95% dari jagung, 4% dari biji sorgum. Para peneliti dan produsen etanol sorgum telah menunjukkan bahwa biji sorgum merupakan bahan baku etanol yang secara teknis dapat diterima dan dapat bertahan secara ekonomi dan bisa memberikan kontribusi yang lebih besar untuk kebutuhan bahan bakar etanol nasional (Wu *et al.* 2007, Wu *et al.* 2006, Farrell *et al.* 2006). Proses produksi alkohol menggunakan biji sorgum sedikit lebih mahal karena proses pembuatan etanolnya lebih panjang, namun karena ramah lingkungan. Produksi etanol dari biji-bijian melibatkan penggilingan biji, hidrolisis pati untuk melepaskan gula terfermentasi, diikuti oleh inokulasi dengan ragi. Secara kimiawi, pati merupakan polimer dari glukosa (Paterson 1995).

## POTENSI PENGEMBANGAN SORGUM MANIS

Pengembangan sorgum manis untuk industri bioetanol skala besar langsung terkait dengan ketersediaan lahan. Lahan terlantar berupa semak belukar, alang-alang, atau rumput-rumputan dapat dimanfaatkan untuk produksi sorgum, dan lahan untuk diversifikasi berupa perkebunan dan kebun campuran. Sebagai tanaman penyelang (rotasi tanaman), sorgum dapat dikembangkan di Jawa Timur, Jawa Tengah, dan Jawa Barat, dan untuk ekstensifikasi di Papua, Papua Barat, dan Sulawesi Tenggara. Lahan untuk diversifikasi yang saat ini berupa perkebunan dan kebun campuran pada sulit dimanfaatkan untuk pengembangan jagung dan ubi kayu. Kementerian BUMN berencana akan mengembangkan sorgum pada lahan seluas 15 ribu hektar di Sulawesi Tenggara, Sulawesi Selatan, Sumba, dan Banyuwangi. Pengembangan sorgum juga sejalan dengan masterplan Percepatan Perluasan dan Pembangunan Ekonomi Indonesia (MP3EI). Sorgum merupakan komoditas pengembang untuk diversifikasi industri secara vertikal.

Pada lahan tadah hujan, jika dalam pola tanam setahun ketersediaan air tidak mencukupi sehingga tanaman pangan utama tidak mampu tumbuh, sorgum

masih dapat tumbuh dengan baik. Beberapa daerah yang layak untuk pengembangan sorgum antara lain adalah NTT, NTB, D.I. Yogyakarta, dan Jawa Tengah (Sirappa 2003). Namun pemanfaatan hasil sorgum di keempat provinsi tersebut masih terbatas sebagai bahan baku makanan kecil jajanan pasar. Potensi sorgum manis sebagai tanaman multiguna belum banyak dimanfaatkan.

## POTENSI RATUN

Kelebihan lain dari sorgum adalah tanaman dapat tumbuh kembali setelah dipanen. Menurut Tsuchihashi dan Goto (2004), tanaman induk sorgum dan tanaman ratun dalam setahun dapat dipanen dua sampai tiga kali, namun daya ratun bervariasi antarvarietas. Penelitian Efendi dan Pabendon (2010) menunjukkan bobot biomas segar tanaman primer rata-rata 43,0 t/ha, kemudian menurun nyata pada tanaman ratun pertama menjadi 22,6 t/ha dan turun kembali pada pertanaman ratun kedua menjadi 17,0 t/ha. Menurut Tsuchihashi dan Goto (2004), budi daya sorgum dapat dilakukan pada musim kemarau karena persentase tanaman tumbuh ratun juga cukup besar dan tanaman ratunnya lebih toleran terhadap kekeringan dibanding tanaman primer.

## SUMBER DAYA GENETIK

Banyak metode pemilihan genetik untuk meningkatkan kualitas biomas, bergantung pada karakter yang diinginkan dan proses biokimia yang menjadi sasaran. Kualitas biomassa didominasi oleh kandungan dan komposisi lignin, selulosa, dan hemiselulosa. Hasil biomassa dapat dimanipulasi melalui teknologi perakitan tanaman untuk bahan baku bioetanol yang meliputi tinggi tanaman, diameter batang, jumlah daun, ketahanan terhadap hama dan penyakit. Pabendon *et al.* (2012) melaporkan bahwa produksi etanol yang tinggi per satuan luas tidak selalu ditentukan oleh produksi etanol per kg batang, volume nira, dan kadar gula *brix* yang tinggi, tetapi juga oleh karakter lain, seperti bobot biomas batang, diameter batang, dan tinggi tanaman dengan nilai korelasi terhadap produksi etanol masing-masing 0,92; 0,70; dan 0,60.

Modifikasi biomassa tanaman melalui pendekatan pemuliaan untuk mengeksploitasi variasi intraspesifik maupun interspesifik dapat membantu pengembangan tanaman bioenergi. Di Amerika Serikat, sorgum untuk biofuel telah diteliti selama 30 tahun (Lipinsky 1977), dengan pengembangan pada tahun 1970 sampai pertengahan tahun 1980an (Murray *et al.* 2009).

Sorgum memiliki keragaman genetik yang luas untuk

sifat agronomi penting (Hart *et al.* 2001). Terdapat sekitar 4.000 spesies sorgum manis di seluruh dunia (Murray *et al.* 2009). Penyediaan basis genetik yang beragam sangat penting untuk pengembangan varietas produktif pada lingkungan yang sangat beragam, termasuk pembentukan hibrida sorgum (Hunter and Anderson 1997) atau mampu menghasilkan biji dengan potensi hasil sama dengan sorgum biji (Miller and McBee 1993).

Berbagai teknologi biologis, termasuk kultur jaringan, transformasi genetik (Godwin and Seetharama 2005), penanda molekuler genomik, dan proteomik (Dillon *et al.* 2005), telah dimanfaatkan dalam perbaikan genetik sorgum. Pengetahuan tentang susunan genetik sifat sorgum telah memberikan kontribusi terhadap perbaikan varietas tanaman bioenergi (Paterson 2008). Genom sorgum telah disekuens, memberikan informasi dan pemahaman yang lebih baik mengenai sifat genetik dan biokimia yang akan membantu mempercepat proses pemuliaan sorgum yang lebih baik (Paterson *et al.* 2009). Sebagian besar kendali gen sifat bioenergi seperti biomassa, karbohidrat, dan kadar nira, sangat kompleks seperti yang ditunjukkan oleh variasi yang terus-menerus muncul dalam satu populasi, yang menunjukkan bahwa gen yang bertanggung jawab terhadap karakter tersebut sifatnya kuantitatif.

## Tantangan Produksi Sorgum Manis

Waktu panen sangat mempengaruhi produksi biomassa total dan kandungan karbohidrat terfermentasi dari sorgum manis. Penundaan proses ekstraksi setelah panen sangat berpengaruh terhadap degradasi nira terfermentasi. Setelah pembekuan hasil ekstraksi, merupakan masalah yang harus dipertimbangkan pada saat pemanenan dan pengaturan proses konversi. Total bobot kering, nilai *brix*, dan rendemen etanol sorgum manis tertinggi ketika dipanen pada saat masak fisiologis (Almodares *et al.* 2007, Broadhead 1972, dan Zhao *et al.* 2009). Biaya yang berkaitan dengan transportasi dari lokasi pertanaman ke pabrik juga akan menjadi faktor pembatas utama dalam menentukan profitabilitas produksi sorgum manis untuk *biofuel*. Varietas yang menghasilkan biomassa lebih tinggi akan lebih efisien untuk memproses dan mengangkut ke pabrik. Lokasi pengolahan etanol sebaiknya dekat dengan lokasi produksi tanaman sorgum manis.

Salah satu kelemahan dari sorgum dan komoditas lainnya yang kaya gula terlarut adalah ketersediaannya musiman dan biaya penyimpanan mahal. Namun biaya produksi bersih karbohidrat terfermentasi dari sorgum manis yang dihitung di tingkat petani masih lebih rendah dibandingkan dengan hasil fermentasi karbohidrat yang berasal dari biji jagung (Bennett and Anex 2008, Bennett and Anex 2009).

Faktor lain yang menyebabkan sorgum manis belum berkembang adalah pasar sorgum yang masih sangat terbatas, dan kenyataan di lapangan menunjukkan bahwa tanaman sorgum belum banyak dikenal masyarakat. Petani akan tertarik mengembangkan sorgum manis jika ada manfaat lain yang dapat diperoleh seperti pemanfaatan biji untuk pangan atau pangan fungsional. Irawan dan Sutrisna (2011) mengemukakan pengalaman bahwa harga ubi kayu di tingkat petani cenderung naik sejalan dengan berkembangnya industri pengolahan ubi kayu seperti *chip*, tapioka, pakan ternak, dan bahan baku bioetanol.

### Prospek ke Depan

Perakitan varietas untuk produksi etanol harus menunjang sifat-sifat yang diinginkan seperti tinggi tanaman, gula terlarut total, produksi nira, rasio selulosa:hemiselulosa non-aditif. Di sisi lain, menurut Turhollow *et al.* (2010), pengembangan varietas hibrida khusus bioenergi akan relatif cepat memberikan hasil. Hal penting yang perlu dipikirkan adalah pengembangan mesin untuk panen biomassa sorgum manis karena penggunaan peralatan khusus untuk tebu tidak efisien dan dapat menurunkan hasil. Paket teknologi budi daya dan ketepatan waktu panen sangat penting untuk mendapat perhatian.

Produksi bioetanol akan semakin bersaing dengan pangan dan pakan. Dalam konteks ini, sorgum manis sebagai tanaman multiguna diharapkan menjadi komoditas andalan yang dapat berperan penting dalam menjaga keamanan energi dan pangan. Oleh karena itu, upaya yang dilakukan adalah memperkenalkan dan memopulerkan varietas sorgum manis kepada beberapa daerah yang potensial untuk pengembangannya.

### KESIMPULAN

Sorgum manis memiliki potensi untuk bahan energi terbarukan, sehingga menghemat sumber daya fosil dan mengurangi emisi gas rumah kaca. Sorgum manis juga berfungsi sebagai pangan atau pangan fungsional, sehingga dapat menjadi sumber pendapatan bagi petani.

Sorgum manis dapat langsung difermentasi menjadi etanol dan bagas yang terdiri dari selulosa dapat diproses menjadi etanol, dan bahkan masih mempunyai nilai bahan bakar yang tinggi. Biji sorgum manis dapat dikonversi menjadi etanol. Kemampuan sorgum untuk tumbuh di lahan marginal dengan input minimal adalah faktor yang juga berbeda dengan tanaman bioenergi lainnya.

Sorgum di Indonesia belum populer, sehingga pengembangan sorgum manis untuk industri bahan baku nabati (BBN) harus didukung oleh program yang

terintegrasi untuk mempromosikan sorgum manis sebagai bahan baku energi dan nilai guna lain.

### DAFTAR PUSTAKA

- Almodares, A. and D.S.M. Mostafafi. 2006. Effects of planting date and time of nitrogen application on yield and sugar content of sweet sorghum. *J. Environ. Biol.* 27: 601-605.
- Almodares, A. and M.R. Hadi. 2009. Production of bioethanol from sweet sorghum: A review, *African Journal of Agricultural Research* 5(9): 772-780.
- Almodares, A., M. R. Hadi, M. Ranjbar, and R. Taheri. 2007. The effects of nitrogen treatments, cultivars and harvest stages on stalk yield and sugar content in sweet sorghum. *Asian J. Plant Sci.* 6:423-426.
- Almodares, A., R. Taheri, and S. Adeli. 2008. Stalk yield and carbohydrate composition of sweet sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] cultivars and lines at different growth stages. *J. Malaysian Appl. Biol.* 37: 31-36.
- Anderson, I.C., D.B. Buxton, A. Hallam, and E. Hunter. 1995. Biomass production and ethanol potential from sweet sorghum. *Leopold Center for Sust. Agric., Iowa State Univ., Ames, IA.* 4:97-101.
- Badger, P.C. 2002. 'Ethanol from Cellulose: A General Review', *Trends in new crops and uses*, J. Janick, and A. Whipkey (eds.), ASHS Press, Alexandria, V.A., 17-21.
- Ballesteros, M., J.M. Oliva, M.J. Negro, P. Manzanares, and I. Ballesteros. 2003. Ethanol from lignocellulosic materials by a simultaneous saccharification and fermentation process (SFS) with *Kluyveromyces marxianus* CECT 10875, *Process Biochemistry* 39(12): 1843-1848.
- Bennett, A. S. and R. P. Anex. 2008. Farm-Gate production costs of sweet sorghum as a bioethanol feedstock. *Transactions of the ASABE* 51(2): 603-613.
- Bennett, A.S. and R.P. Anex. 2009. Production, transportation and milling costs of sweet sorghum as a feedstock for centralized bioethanol production in the upper Midwest. *Bioresource Technology* 100: 1595-1607.
- Broadhead, D.M. 1972. Effect of planting date and maturity on juice quality of Rio sweet sorghum. *Agron. J.* 64: 389-390.
- Dillon, S.L., P.K. Lawrence, and R.J. Henry 2005. The new use of sorghum bicolor-derived SSR markers to evaluate genetic diversity in 17 Australian sorghum species. *Plant Genet. Res.* 3: 19-28.

- Efendi, R. dan M.B. Pabendon. 2010. Seleksi genotipe sorgum manis produksi biomas dan daya ratun tinggi. *Dalam*: Laporan Akhir Tahun. Balai Penelitian Tanaman Serealia: Perakitan Varietas Sorgum untuk Bahan Baku Bioetanol (9-15%) dan Bahan Pangan Potensi Hasil > 4 t/ha. Pusat Penelitian Tanaman Pangan, Badan Litbang Pertanian, 40 p.
- Farrell AE, R.J. Plevin, B.T. Turner, A.D. Jones, M. O'Hare, D.M. Kammen. 2006. Ethanol can contribute to energy and environmental goals. *Science*, 311: 506-508.
- Gnansounou, E., A. Dauriat, and C.E. Wyman. 2005. Refining sweet sorghum to ethanol and sugar: economic trade-offs in the context of North China. *Bioresource Technology* 96(9): 985-1002.
- Godwin I.D. and N. Seetharama. 2005. Sorghum genetic engineering: Current Status and Prospectus. *In*: Sorghum Tissue Culture and Transformation (Seetharama N and Godwin I, eds.). Oxford & IBH Publishing Co. Pvt. Ltd., New Delhi: 1-8.
- Hart, G., K. Schertz, Y. Peng, and N. Syed. 2001. Genetic mapping of Sorghum bicolor (L.) Moench QTLs that control variation in tillering and other morphological character. *Theor Appl Genet.* 103:1232-1242.
- Hipp, B.W., W.R. Cowley, C.J. Gerard, and B.A. Smith. 1970. Influence of solar radiation and date of planting on yield of sweet sorghum. *Crop Sci.* 10 (1): 91-92.
- Hunter, E.L. and I.C. Anderson. 1997. Sweet sorghum. *Hort. Rev.* 21: 73-104.
- Irawan, B. dan N. Sutrisna. 2011. Prospek pengembangan sorgum di Jawa Barat mendukung diversifikasi pangan. *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, 29 (2): 99-113.
- Kim, M. and D. Day, D. 2011. Composition of sugar cane, energy cane, and sweet sorghum suitable for ethanol production at Louisiana sugar mills, *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 38(7): 803-807.
- Lipinsky, E.S. 1977. Sugarcane vs. Corn vs. Ethylene as sources of ethanol for motor fuels and chemicals. *Proc. Am. Soc. Sugar Cane Tech.* 7:152-162.
- Mei, X., R. Liu, F. Shen, and H. Wu. 2009. Optimization of fermentation conditions for the production of ethanol from stalk juice of sweet sorghum by immobilized yeast using response surface methodology. *Energy & Fuels* 23(1): 487-491.
- Miller, F.R., and G. G. McBee. 1993. Genetics and management of physiologic systems of sorghum for biomass production. *Biomass and Bioenergy* 5:41-49.
- Murray, S.C., W.L. Rooney, M.T. Hamblin, S.E. Mitchell, and S. Kresovich. 2009. Sweet sorghum genetic diversity and association mapping for brix and height. *Plant Genome* 2: 48-62.
- Pabendon, M.B., S. Mas'ud, R. S. Sarungallo, dan Amin Nur. 2012. Penampilan fenotipik dan stabilitas sorgum manis untuk bahan baku bioetanol. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 31(1).
- Paterson, A.H. 2008. Genomics of sorghum (A review). *International Journal of Plant Genomics Volume* 2008, Article ID 362451; doi:101155/2008/362451.
- Paterson, AH, JE Bowers, R Bruggmann, I Dubchak, J Grimwood, H Gundlach, G Haberer, U Hellsten, T Mitros, A Poliakov, J Schmutz, M Spannagl, H Tang1, X Wang, T Wicker, AK Bharti, J Chapman, FA Feltus, U Gowik, IV Grigoriev, E Lyons, CA Maher, M Martis, A Narechania, RP Otiillar, BW Penning, AA Salamov, Y Wang, LZhang, NC Carpita, M Freeling, AR Gingle, CT Hash, B Keller, P Klein, S Kresovich, MC McCann, R M, DG Peterson, M Rahman, D Ware, P Westhoff, KFX Mayer, J Messing and DS Rokhsar. 2009. The Sorghum bicolor genome and the diversification of grasses. *Nature* 457: 551-556.
- Peterson, A. 1995. Production of fermentable extracts from cereals and fruits. Pages 1–31 in *Fermented beverage production* (Lea, A.G.H, and Piggot, J.R., eds.). London, UK: Blackie Academic & Professional.
- Prasad, S., A. Singh, N. Jain, and H.C. Hoshi. 2007. Ethanol production from sweet sorghum syrup for utilization as automotive fuel in India. *Energy Fuel.* 21: 2415-2420.
- Propheter, J.L. and S. Staggenborg. 2010. Performance of annual and perennial biofuel crops: nutrient removal during the first two years. *Agron. J.* 102 (2): 798-805.
- Putnam, D.H., W.E. Lueschen, B.K. Kanne, and T.R. Hoverstad. 1991. A comparison of sweet sorghum cultivars and maize for ethanol production. *J. Prod. Agric.* 4:377-381.
- Rains, G.C., J.S. Cundiff, and D.H. Vaughan. 1990. Development of a whole-stalk sweet sorghum harvester. *Trans. ASAE* 33(1): 56-62.
- Reddy, B.V.S., A. A. Kumar, and S. Ramesh. 2007. Sweet sorghum: a water saving bio-energy crop. Patancheru-502 324. *International Crops Res. Institute for the Semi-Arid Tropics. Andhra Pradesh, India.*
- Sarath, G., R.B. Mitchell, S.E. Sattler, D. Funnell, J.F. Pedersen, R.A. Graybosch, and K.P. Vogel. 2008. Opportunities and roadblocks in utilizing forages and small grains for liquid fuels. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 35:343-354.

- Serna-Saldivar, S. 2010. *Cereal Grains: Properties, Processing, and Nutritional Attributes* CRC Press.
- Shoemaker, C.E., and D.I. Bransby. 2010. The role of sorghum as a bioenergy feedstock. sustainable alternative fuel feedstock opportunities, Challenges and Roadmaps for Six U.S. Regions Proceedings of the Sustainable Feedstocks for Advance Biofuels Workshop. Embassy Suites, Centennial Olympic Park - Atlanta, GA, September 28-30, 2010. Department of Agronomy and Soils, 202 Funchess Hall, Auburn University, Auburn, AL 36849, U.S.A. p.149-159.
- Sipos, B., J. Réczey, Z. Somorai, Z. Kádár, D. Dienes, and K. Réczey. 2009. Sweet sorghum as feedstock for ethanol production: enzymatic hydrolysis of steam-pretreated bagasse, *Applied Biochemistry and Biotechnology* 153: 151-162.
- Sirappa, M.P. 2003. Prospek Pengembangan Sorgum di Indonesia sebagai Komoditas Alternatif untuk Pangan, Pakan, dan Industri. *Jurnal Litbang Pertanian* 22 (4).
- Smith, G.A. and D.R. Buxton. 1993. Temperate zone sweet sorghum ethanol production potential. *Bioresource Tech.* 43(1): 71-75.
- Smith, G.A., M.O. Bagby, R.T. Lewellan, D.L. Doney, P.H. Moore, F.J. Hills, L.G. Campbell, G.J. Hogaboam, G.E. Coe, and K. Freeman. 1987. Evaluation of sweet sorghum for fermentable sugar production potential. *Crop Sci.* 27(4): 788-793.
- Tsuchihashi, 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 on dry land of Indonesia. *Plant Prod. Sci.* 7:442-448.
- Turhollow, A.F., E.G. Webb, and M.E. Downing. 2010. Review of Sorghum Production Practices: Applications for bioenergy. Oak Ridge National Laboratory, Managed by UT\_Battelle LLC for the Department of Energy. Oak Ridge, Tennessee 37831-6283. U.S. Department of Energy, under contract DE-AC05-00OR22725ORNL/TM-2010/7.
- Winberry, J. 1980. The sorghum syrup industry 1854-1975. *In: Agricultural History*, 54(2): 343-352.
- Woods, J. 2000. Integrating Sweet Sorghum and Sugarcane for Bioenergy: Modelling The Potential for Electricity and Ethanol Production in SE Zimbabwe. Thesis for the degree of Doctor of Philosophy. King's College London. University of London, UK.
- Wu, X, R. Zhao, D. Wang, S.R. Bean, P.A. Seib, M.R. Tuinstra, M. Campbell, A. O'Brien. 2006. Effects of amylose, corn protein, and corn Wber contents on production of ethanol from starch rich media. *Cereal Chem.* 83:569-575.
- Wu X, R. Zhao, S.R. Bean, P.A. Seib, J.S. McLaren, R.L. Madl, M. Tuinstra, M.C. Lenz, D. Wang. 2007. Factors impacting ethanol production from grain sorghum in the dry-grind process. *Cereal Chem.* 84:130-136.
- Wu, X., S. Staggenborg, J.L. Propheter, W.L. Rooney, J. Yu, and D. Wang. 2010. Features of sweet sorghum juice and their performance in ethanol fermentation, *Industrial Crops and Products* 31(1): 164-170.
- Zhao, Y.L., A. Dolat, Y. Steinberger, X. Wang, A. Osman, and G. H. Xie. 2009. Biomass yield and changes in chemical composition of sweet sorghum cultivars grown for biofuel. *Field Crops Res.* 111:55-64.
- Zhang, C., G. Xie, S. Li, L. Ge, L. and T. He. 2010. The productive potentials of sweet sorghum ethanol in China, *Applied Energy* 87(7):2360-2368.