

Prospek Sorgum Manis sebagai Bahan Baku Bioetanol

Marcia B. Pabendon¹, Sigit Budi Santoso¹, dan Nuning Argosubekti²

¹Balai Penelitian Tanaman Serealia

²Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan

PENDAHULUAN

Bioetanol yang diproduksi dari tanaman merupakan energi yang makin diperlukan dengan menipisnya deposit bahan bakar minyak asal fosil (Sanchez 2007). Pada tahun 2009 produksi bioetanol dunia mencapai 80 juta kl (RFA 2010). Pengguna bioetanol sebagai bahan bakar minyak untuk transportasi makin berkembang yang menyebabkan permintaan meningkat pesat (Kennedy and Turner 2004). Oleh sebab itu diperlukan spesies tanaman dengan produksi biomas tinggi yang dapat diolah menjadi bioetanol dalam industri skala besar.

Sorgum manis telah digunakan sejak hampir 150 tahun yang lalu untuk menghasilkan sirup, pakan hijauan, dan silase pakan ternak (Schaffert 1992). Krisis bahan bakar minyak yang terjadi pada tahun 1970an menyebabkan sorgum manis mulai digunakan sebagai bahan baku etanol untuk substitusi bahan bakar minyak (Schaffert *et al.* 1982). Dalam beberapa tahun terakhir sorgum manis banyak digunakan sebagai bahan baku fermentasi bebas gula yang berpotensi menghasilkan bahan bakar minyak, pangan, pakan, dan berbagai produk lainnya (Chiaramonti *et al.* 2004). Sorgum manis merupakan salah satu tanaman yang paling efisien mengonversi CO₂ menjadi gula dibandingkan dengan tebu dan jagung, sehingga tanaman ini menjanjikan sebagai sumber bioenergi, pangan, dan pakan ternak. Kegunaan batang sorgum manis sama dengan tebu, karena mengandung kadar gula tinggi, yang dapat menghasilkan etanol melalui fermentasi (FAO 2002).

Sorgum manis merupakan tanaman C₄, pada penyinaran tinggi dan suhu panas mampu berfotosintesis lebih cepat sehingga menghasilkan biomas yang lebih banyak dibandingkan dengan tanaman C₃ (Salisbury and Ross 1992). Sebagai tanaman C₄, produktivitas sorgum tergolong tinggi dan memiliki lapisan lilin pada permukaan daun yang dapat mengurangi laju evapotranspirasi, dan sistem perakarannya ekstensif. Kedua faktor ini menjadikan sorgum sangat efisien dalam pemanfaatan air (House 1985), sehingga produktivitas biomasnya lebih tinggi dibandingkan dengan jagung atau tebu yang sama-sama tanaman C₄ (Hoeman 2007). Sorgum yang mempunyai kadar gula brix tinggi pada batang digolongkan sebagai sorgum manis (Reddy and Sanjana 2003).

Sorgum manis juga memiliki gen pengendali daun awet hijau (*stay-green*) sejak fase pengisian biji. Fenomena ini berhubungan dengan kandungan nitrogen pada daun yang lebih tinggi sehingga mampu meningkatkan efisiensi penggunaan radiasi dan transpirasi (Borrell *et al.* 2000). Fisiologi *stay-green* pada tanaman sorgum mampu memperlambat proses peluruhan daun (Mahalakshmi and Bidinger 2002) sehingga tanaman mampu mempertahankan batang dan daunnya tetap hijau walaupun dalam keadaan pasokan air terbatas (Borrell *et al.* 2006). Beberapa karakter penting lain yang terdapat pada tanaman sorgum menurut SFSA (2003) adalah: (1) memiliki akar yang lebih banyak dibandingkan dengan tanaman sereal lain, (2) dapat dorman selama kekeringan dan tumbuh kembali setelah kondisi memungkinkan, (3) tanaman bagian atas (tajuk) akan tumbuh setelah perakaran berkembang dengan baik, (4) mampu berkompetisi dengan berbagai jenis gulma, dan (5) laju fotosintesis lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman sereal lain.

Sorgum manis telah diidentifikasi sebagai komoditas energi karena kandungan gula pada batang tinggi (Miller and Creelman 1980, Yu *et al.* 2009, Wortmann and Regassa 2011) dan mampu menghasilkan etanol 6000-7.000 l/ha (FAO 2002, Dinesh *et al.* 2013, Smith and Buxton 1993). Di Indonesia, kemampuan tanaman sorgum menghasilkan etanol berkisar antara 3000-6600 l/ha (Pabendon *et al.* 2012a).

Sorgum manis merupakan tanaman sereal yang luas daya adaptasinya sehingga potensial dikembangkan untuk produksi bioetanol. Batang dan biji sorgum manis dapat diolah menjadi gula dan hasil sampingnya berupa bagas. Dengan demikian sorgum manis bersifat multiguna dan produknya dapat digunakan untuk pangan, pakan, etanol, dan sumber kalori (Tabel 1).

Tabel 1. Karakteristik sorgum manis sebagai bahan baku etanol.

Sebagai tanaman produksi	Sebagai bahan etanol	Limbah berupa bagas
Periode tumbuh pendek (3-4 bulan)	Proses ramah lingkungan	Nilai biologis tinggi
Tanaman lahan kering Toleran kekeringan	Kualitas superior Kurang belerang	Kaya mikronutrien Dapat digunakan sebagai pakan, untuk listrik cogeneration, atau biokompos
Keamanan lingkungan Memenuhi kebutuhan pangan dan pakan	Oktan tinggi Aman untuk suplemen bahan bakar mobil (hingga 25% dari campuran untuk bensin)	-
Emisi NO ₂ /CO ₂ tanah rendah	-	-
Biji mudah tersedia	-	-

Sumber: Reddy *et al.* (2005, 2008)

Vries *et al.* (2010) meneliti beberapa tanaman untuk bahan baku bioenergi, yaitu jagung, gandum, sorgum manis, dan tebu (*Saccharum spp.*). Ternyata sorgum manis lebih efisien dalam penggunaan lahan, air, pupuk nitrogen, dan pestisida.

Sorgum manis dapat dipanen 3-4 kali dalam setahun jika irigasi memadai, umur tanaman pendek, dan biaya produksi relatif rendah sehingga menguntungkan untuk produksi bioetanol (Smith and Buxton 1993). Kandungan gula pada nira batang sorgum manis berkisar 8-20% (Rains *et al.* 1990). Konversi gula dari nira batang sorgum menjadi etanol membutuhkan energi lebih rendah dibanding pati yang membutuhkan banyak energi untuk depolimerisasi pati.

Tanaman yang selama ini digunakan sebagai sumber bioetanol adalah jagung, gula bit, tebu, sorgum manis, dan ubi kayu (Adelekan 2010). Namun ketahanan pangan merupakan kebutuhan yang lebih penting. Pemanfaatan sorgum manis sebagai bahan baku bioetanol tidak mempengaruhi ketahanan pangan, karena bijinya digunakan untuk pangan, biomas batang untuk bahan baku bioetanol, daun dan bahan kering lainnya untuk pakan. Satu hektar lahan dapat menghasilkan 2-6 ton biji sorgum (Reddy 2007). Selain nira yang dapat digunakan sebagai bahan baku utama bioetanol, bagas yang mengandung lignoselulosa juga dapat dipertimbangkan untuk diproses menjadi etanol generasi kedua.

Pemuliaan sorgum manis di Indonesia relatif kurang, sehingga peluang peningkatan produksi melalui perbaikan genetik tanaman masih terbuka. Keuntungan komparatif sorgum manis terhadap tebu dan jagung dapat dilihat pada Tabel 2.

Badan Litbang Pertanian telah melepas sejumlah varietas sorgum untuk pangan, di antaranya terdapat sorgum manis. Khusus untuk produksi bioetanol telah dilepas dua varietas sorgum yaitu Super-1 dan Super-2.

Tabel 2. Keuntungan komparatif sorgum manis terhadap tebu dan jagung.

Parameter	Sorgum manis	Tebu	Jagung
Umur tanaman	4 bulan	9-12 bulan	4 bulan
Kebutuhan air	4.000 m ³	36.000 m ³	8.000 m ³
Hasil biji (t/ha)	2,0	-	8
Produksi etanol nira batang (l/ha)	1.400	5.600	0
Silase/stover (t/ha)	4	13	8
Hasil ethanol dari bagase (l/ha)	1.000	3.325	1.816
Total hasil ethanol (l/ha)	3.160	8.925	3.216
Biaya produksi tanaman (\$/ha)	220	995	272
Biaya produksi etanol per kilo liter (\$/kl)	75,3	111,5	89,2

Sumber: Reddy *et al.* (2006).

Secara umum, karakter gen sorgum manis dan sorgum biji pada dasarnya sama, hanya dibedakan oleh beberapa gen yang mengontrol tinggi tanaman, *stay green*, dan kandungan nira batang (Schaffert 1992).

SEJARAH PEMULIAAN SORGUM MANIS

Penelitian sorgum manis dimulai di ICRISAT, India, pada tahun 1980 dengan mengevaluasi 70 aksesi plasma nutfah sorgum. Dua galur *landrace* yang diseleksi adalah IS6872 dan IS6896, keduanya memiliki kadar gula dan biomas batang yang tinggi. Pada tahun 1981 beberapa galur sorgum manis diidentifikasi di Nigeria, termasuk sejumlah progeni galur-galur murni hasil pemuliaan dari Zimbabwe. Penelitian sorgum manis dihentikan pada akhir 1990an karena berbagai hal. Pada tahun 2002, penelitian diarahkan untuk memenuhi permintaan etanol karena pemerintah India menjadikan etanol sebagai suplementasi bahan bakar bensin. Berbagai aksesi plasma nutfah dengan variabilitas yang tinggi membuka peluang pengembangan varietas hibrida berbatang besar dan kaya gula untuk produksi etanol (Reddy *et al.* 2007).

Berbagai teknik pemuliaan menjadi pertimbangan dalam pemuliaan sorgum manis untuk produksi etanol. Beberapa peneliti telah melaporkan bahwa tanaman sorgum memiliki vigor hibrida. Eksploitasi heterosis secara intensif dilakukan pada sorgum biji maupun pada sorgum manis. Perbaikan varietas sorgum manis harus didasarkan pada keragaman genetik dan tipe bunga (Makanda *et al.* 2009). Karper dan Quinby (1937) mempelajari sifat heterosis melalui persilangan secara intensif antara spesies milo, kafir, hegari, kaoling, songo, dan broomcorn. Ternyata spesies milo dan hegari merupakan dua grup yang berbeda dan mampu menghasilkan vigor hibrida yang tinggi.

Dalam pemuliaan sorgum manis, beberapa pendekatan yang perlu dipahami antara lain biomas tinggi, kadar gula tinggi dan stabil, tahan terhadap hama dan penyakit utama, dan umur matang fisiologis (kadar gula tertinggi pada saat matang fisiologis biji). Pendekatan pemuliaan dalam pembentukan varietas sorgum mencakup pengamatan dan seleksi terhadap karakter target, pemanfaatan heterosis, dan rekombinasi galur-galur terpilih.

Sorgum digolongkan sebagai tanaman menyerbuk sendiri, karena penyerbukan silang kurang dari 10%. Namun penyerbukan silang pada sorgum bervariasi antara 1-10%, bahkan dapat mencapai 30-60%, bergantung pada tipe malai. Tipe malai sorgum bervariasi, mulai dari tipe kompak sampai terbuka dan longgar seperti rumput sehingga mudah diserbuki dari luar.

Bunga sorgum memiliki dua putik dan tiga benang sari. Setiap stigma berbulu yang melekat kuat pada permukaan ovarium. Anthera melekat pada filamen berupa benang panjang (House 1985).

Inisiasi penyerbukan dipicu oleh hari pendek meskipun tidak bergantung pada suhu (Wilson and Eastin 1982). Mekar bunga sorgum dimulai setelah batang mencapai panjang maksimum, namun kadang-kadang berbunga lebih cepat. Bunga yang pertama mekar adalah pada salah satu terminal atau pada cabang kedua pada malai paling atas. Penyerbukan dapat terjadi selama 3-15 hari, bergantung pada ukuran malai dan perubahan suhu, rata-rata 6-9 hari (Ayyangar and Rao 1931, Quinby *et al.* 1973). Penyerbukan pada sorgum terjadi setelah matahari terbit sampai tengah hari. Pembungaan terhenti menjelang sore atau saat mendung, atau pada pagi hari yang berembun. Stigma reseptif sekitar 1-2 hari sebelum bunga mekar (Maunder and Sharp 1963). Panjang malai sorgum manis bervariasi antara 2-25 cm dan lebar antara 2-22 cm. Malai tunggal dapat menghasilkan 800-30.000 biji. Walaupun tanaman sorgum manis menyerbuk sendiri, namun malai bagian atas dapat menyerbuk silang (*outcrosses*) dengan intensitas yang lebih tinggi daripada bagian bawah (Maunder and Sharp 1963).

HIBRIDA SORGUM MANIS

Tujuan utama pemuliaan adalah meningkatkan produktivitas, memperbaiki kualitas dan hasil tanaman melalui rekombinasi gen. Peningkatan produktivitas sorgum manis dapat dicapai dengan perakitan varietas hibrida. Hibrida sorgum manis memiliki bobot biomas tinggi, volume nira tinggi, dan total gula terfermentasi tinggi, sehingga efisien dalam menghasilkan etanol. Di Amerika Serikat, produksi sorgum manis telah meningkat tiga kali lipat sejak dikembangkan sorgum hibrida secara intensif (Quinby 1974, Doggett 1988).

Heterosis pada sorgum pertama kali diteliti pada tahun 1927 (Corner and Karper 1927), tetapi eksploitasi secara komersial tidak berhasil hingga ditemukannya teori mandul jantan sitoplasmik (*cytoplasmic male sterility*) (Stephens and Holland 1954). Mandul jantan-sitoplasmik (CMS) pada sorgum memungkinkan untuk memproduksi hibrida sorgum secara komersial. Gen pengendali mandul jantan terdapat dalam genom (dalam inti sel) dan sitoplasma (di luar inti sel).

Terjadinya mandul jantan dapat disebabkan oleh beberapa hal antara lain pertumbuhan tanaman kurang baik akibat penyakit atau karena mutasi. Mandul jantan genetik terjadi secara alami pada spesies hermaprodit, secara umum mempertahankan fungsi betina sepenuhnya normal. Manifestasi

fenotipik mandul jantan sangat beragam mulai dari tidak adanya anther atau tidak komplit, kegagalan membentuk jaringan sporogenous normal (tidak ada meiosis), aborsi serbuk sari pada setiap tahapan perkembangan, hingga tidak adanya benang sari atau ketidakmampuan serbuk sari yang telah matang membuahi stigma (Budar and Pelletier 2001).

Mandul jantan genetik (GMS) umumnya mutasi resesif yang mempengaruhi sebagian besar fungsional tanaman, misalnya protein yang terlibat dalam meiosis pada jantan (Glover *et al.* 1998), metabolisme hormon tanaman (Moffatt and Sommerville 1988), biosintesis molekul lipid kompleks (Aarts 1995), atau sintesis metabolit sekunder (Van der Meer *et al.* 1992).

Mandul jantan sitoplasmik (CMS) biasanya didefinisikan sebagai “defisiensi pewarisan maternal dalam memproduksi serbuk sari yang viabel” dan yang bertanggung jawab untuk sifat tersebut adalah mitokondria. Oleh sebab itu, setiap mutasi mitokondria yang mengganggu fungsi mitokondria sehingga mandul jantan disebut CMS. CMS lebih aman untuk produksi benih hibrida daripada mandul jantan genetik karena memiliki pemulihan kesuburan. Selain itu, CMS yang terseleksi dalam populasi alami cukup stabil jika direkombinasi dengan karakter yang tidak stabil untuk produksi benih, bahkan lebih baik daripada hermaphrodit (Budar and Pelletier 2001).

Stabilitas gen pengendali mandul jantan mempengaruhi efisiensi pemuliaan. Reddy (2005) melaporkan bahwa hasil mandul-jantan dari persilangan milo-sitoplasmik dengan gen sterilitas ditemukan pada kelompok spesies kafir dan pada kelompok lain. Genetik yang terlibat tidak sepenuhnya jelas, namun dua gen (MSC1 dan MSC2, dalam kondisi resesif disilangkan dengan milo-sitoplasmik) mengakibatkan mandul jantan. Dari sejumlah gen pengendali mandul jantan (ms1, ms2, ms3, ms4, ms5, ms6, ms7, dan al), ms3 paling banyak digunakan karena ekspresi dari mandul jantan tersebut stabil pada berbagai lokasi dan musim. Mandul jantan yang disebabkan oleh kondisi resesif (msms) dapat dimanfaatkan. Demikian juga mandul jantan yang disebabkan oleh gen tanpa anther (al) yang juga telah ditemukan manfaatnya. Mandul jantan genetik digunakan terutama pada varietas komposit untuk meningkatkan rekombinasi.

KARAKTER SORGUM MANIS UNTUK BIOETANOL

Sebagian besar fotosintat sorgum manis terdistribusi pada batang, sehingga relatif kecil yang terdistribusi ke malai. Dengan demikian, batang merupakan sink utama. Sukrosa merupakan produk utama hasil fotosintesis dan komponen paling besar dalam penyimpanan, terakumulasi dan disalurkan sebagai sumber karbohidrat. Sukrosa yang sebagian besar terakumulasi

pada batang sesuai difermentasi menjadi alkohol. Perbedaan utama antara sorgum biji dan sorgum manis adalah akumulasi bobot kering sorgum manis tidak mengalami penurunan, bahkan meningkat pada saat bunting atau pengisian biji (www.fao.org). Fakta tersebut membuktikan bahwa sorgum manis mempunyai potensi yang besar digunakan sebagai bahan baku etanol selain tebu. Budi daya sorgum manis mengalami pergeseran dari bahan baku pangan dan pakan menjadi bahan baku industry, baik skala kecil maupun skala besar. Menurut Elangovan *et al.* (2013), karakter penting dalam mengidentifikasi genotipe unggul sorgum manis untuk produksi etanol adalah bobot biomas, persen brix nira, volume nira, dan total gula terlarut tinggi.

Bobot Biomas Batang

Kelayakan pengembangan varietas sorgum manis terkait dengan konsentrasi gula dari nira batang. Tinggi tanaman nyata berkorelasi dengan bobot biomas batang. Nilai koefisien korelasi juga tinggi antara bobot biomas batang dengan hasil etanol per satuan luas (0,98) (Pabendon *et al.* 2012a). Tinggi tanaman juga berkorelasi dengan jumlah buku (*node*) dan panjang ruas. Semakin banyak jumlah buku, semakin panjang periode tumbuh. Panjang penyinaran, suhu tinggi, dan pasokan air yang cukup diperlukan untuk mendapatkan tanaman yang tinggi dan diameter batang yang besar. Menurut Juerg *et al.* (2009), kandungan gula tinggi di dalam batang bukan menjadi fokus utama perakitan varietas sorgum manis, namun mengacu pada produksi biomas tinggi. Tanaman yang terlalu tinggi rentan terhadap kerebahan, terutama pada daerah dengan angin kencang. Oleh sebab itu, diameter batang yang besar, tanaman tidak terlalu tinggi, dan perakaran yang kokoh merupakan karakter yang diperlukan.

Nira Batang

Persentase nira batang bervariasi antarvarietas, berkisar 51,2-80,0%. Untuk mengoptimalkan hasil etanol, tingkat ekstraksi nira minimal 50% dari total bobot batang. Persentase nira dari batang yang kompak, variasinya kecil dan nira dapat bertahan untuk jangka waktu relatif lama. Batang yang kompak dapat mempertahankan kualitas nira. Pabendon *et al.* (2012a) menghasilkan nira batang dari genotipe harapan sorgum manis yang diuji 300-458 ml/kg batang sorgum manis. Penelitian Murray *et al.* (2008) menunjukkan bahwa hasil nira lebih besar pengaruhnya daripada konsentrasi gula dalam menentukan total hasil gula. Karakter gula secara umum menunjukkan korelasi negatif yang rendah sampai sedang terhadap hasil biji dan kandungan pati biji. Pabendon *et al.* (2012b) memperoleh korelasi negatif rendah antara hasil etanol dengan kadar glukosa pati (-0,03).

Kandungan Gula Nira Batang

Mekanisme fisiologi akumulasi gula berbeda antara sorgum dan tebu (Tarpley and Vietor 2007). Sejumlah enzim yang berasosiasi dengan akumulasi gula pada tebu (seperti sintesis dan sukrosa fosfat dan sebaliknya) tidak nampak memegang berperan utama akumulasi gula pada sorgum (Lingle 1987, Tarpley *et al.* 1994). Natoli *et al.* (2002) berhasil mengidentifikasi dan memetakan mayor QTL untuk brix pada bagian tengah kromosom 3. Terdapat korelasi yang nyata antara komposisi gula dan karakter hasil (Murray *et al.* 2008). Hasil total gula hanya berkorelasi sedang dengan brix tetapi mempunyai korelasi positif dengan hasil gula batang dan bobot gula batang. Pabendon *et al.* (2012b) mendapatkan korelasi positif sedang antara gula brix dan hasil etanol (0,76). Sorgum berpori tanpa nira dominan terhadap yang berpori dan menghasilkan nira. Kadar gula batang diwariskan secara kuantitatif. Gen-gen pengendali nira brix dominan rendah lebih banyak dibandingkan dengan gen pengendali nira brix dominan tinggi. Heritabilitas arti luas gula (brix) pada batang tidak tinggi, karena karakter mudah dipengaruhi oleh lingkungan, seperti kandungan nitrogen tanah dan suhu. Tingkat akumulasi gula pada batang bervariasi antargenotipe (Almodares and Sepahi 1996). Tidak ada korelasi antara gula brix batang dan tinggi tanaman atau waktu berbunga. Ada korelasi negatif yang signifikan antara tingkat gula dan bobot 1000-biji. Untuk mempertahankan dan meningkatkan kadar gula tinggi dalam batang, malai dipotong pada saat biji matang fisiologis (Bitzer 2009).

Bobot Biji

Kebanyakan varietas sorgum manis memiliki bobot biji per malai dan hasil gabah yang rendah. Beberapa hibrida mempunyai hasil gabah dan kadar gula tinggi. Perakitan hibrida merupakan cara terbaik untuk mendapatkan hasil gabah dan kadar gula tinggi. Pabendon *et al.* (2012a) memperoleh varietas yang mempunyai korelasi positif antara hasil biji dan etanol (0,86). Sungkono *et al.* (2009) menyatakan bahwa perbaikan daya adaptasi dan potensi hasil sorgum lebih efektif jika dilakukan terhadap karakter bobot biomas dan bobot biji/malai, karena karakter tersebut mempunyai nilai heritabilitas yang tinggi. Oleh sebab itu, seleksi genotipe untuk bioetanol tinggi per satuan luas dapat dilakukan berdasarkan karakter tersebut. Murray *et al.* (2008) menyimpulkan bahwa seleksi genetik sorgum biji dan sorgum manis untuk karakter hasil harus diarahkan pada perbaikan bahan baku utama daripada mengubah komposisi karakter.

Tiga varietas inbrida sorgum manis telah dihasilkan oleh Badan Litbang Pertanian dengan nama Numbu, Super-1, dan Super-2. Varietas Numbu diarahkan untuk pangan, namun tidak menutup kemungkinan batangnya dimanfaatkan sebagai bahan baku bioetanol karena produksi biomas

Tabel 3. Hasil evaluasi tiga varietas inbrida sorgum manis di 11 lokasi pada MT 2009.

Parameter	Varietas		
	Numbu	Super-1	Super-2
Bobot biomas batang (t/ha)	17,1	17,5	21,4
Kadar gula brix (%)	10,8	14,1	12,7
Volume nira (ml/kg batang)	240,1	241,6	197,9
Tinggi tanaman (cm)	197,0	204,8	231,5
Volume etanol (l/ha)	3.965	5.702	5.532
Hasil biji (t/ha)	2,8	2,7	3,0
Umur 50% berbunga (hari)	56	56	60
Umur panen (hari)	105-110	105-110	115-120

Sumber: Pabendon *et al.* (2013)

batangnya tinggi dan kadar gula brix rata-rata 10-12%. Varietas Super-1 dan Super-2 diarahkan untuk produksi bioethanol, namun varietas Super-1 juga dapat dimanfaatkan untuk pangan dan pakan karena bijinya putih. Hasil evaluasi pada MT 2009 pada 11 lokasi menunjukkan bobot biomas batang berkisar antara 17,1-21,4 t/ha, gula brix 10,8-14,1%, volume nira 198-242 ml/kg batang, tinggi tanaman 197-232 cm, hasil etanol 3.965-5.702 l/ha, hasil biji 2,7-3,0 t/ha, umur 50% berbunga 56-60 hari, dan umur panen 105-120 hari (Tabel 3).

TANTANGAN PENGEMBANGAN VARIETAS SORGUM MANIS

Salah satu tantangan dalam pengembangan sorgum untuk bioetanol dalam skala besar adalah daya simpan yang singkat setelah panen. Penundaan ekstraksi nira batang setelah panen, menyebabkan rusaknya gula dalam nira batang yang berpengaruh terhadap kadar gula sehingga terjadi penurunan produksi etanol. Selain itu, ketersediaan bahan baku yang bersifat musiman, kebutuhan transportasi, dan penyimpanan biomas dalam jumlah besar merupakan tantangan yang perlu mendapat perhatian.

Perakitan varietas sorgum manis dengan berbagai keunggulan melalui rekombinasi juga merupakan tantangan dalam menghasilkan varietas yang dapat ditanam pada berbagai agroekosistem yang berbeda di Indonesia.

Keberlanjutan sistem produksi sorgum bergantung pada lingkungan pertanaman dan ketersediaan sumber daya. Salah satu alternatif untuk mengekstraksi nira segera setelah panen pada areal yang luas adalah pembangunan unit pemeras nira sorgum secara desentralisasi yang

memungkinkan petani untuk berpartisipasi. Hal ini akan mengurangi biaya transportasi, mencegah kerugian akibat keterlambatan panen nira, dan memperpanjang periode ketersediaan bahan baku untuk industri etanol.

PENUTUP

Teknologi produksi etanol sorgum manis telah mendapatkan perhatian di berbagai negara seperti di Amerika Serikat, China, India, Afrika, dan Filipina. Namun, sorgum manis merupakan tanaman musiman, waktu panen terbatas, kebutuhan tenaga kerja tinggi, dan penurunan kadar gula batang cepat apabila proses ekstraksi nira terlambat. Oleh sebab itu, karakter umur masak fisiologi yang berbeda, identifikasi gen-gen yang berperan membantu mempertahankan kualitas kadar gula tinggi yang relatif lama pada saat panen biomas batang, dan hasil biji yang stabil merupakan prioritas utama dalam program pembentukan varietas sorgum untuk bahan baku bioetanol.

Di negara berkembang, sorgum manis memberikan peluang bagi produksi pangan dan bioetanol, yang berperan penting dalam meningkatkan ketahanan pangan dan energi terbarukan.

DAFTAR PUSTAKA



- Aarts, M.G.M. 1995. Molecular characterisation of the CER1 gene of *Arabidopsis* involved in epicuticular wax biosynthesis and pollen fertility. *Plant Cell* 7:2115–2127.
- Adelekan, B.A. 2010. Investigation of ethanol productivity of cassava crop as a sustainable source of biofuel in tropical countries. *African Journal of Biotechnology* 9(35):5643-5650.
- Ayyangar, G.N.R. and V.P. Rao. 1931. Studies in sorghum. I. Anthesis and pollination. *Indian J. Agric. Sci.* 1:445-454.
- Almodares, A. and A. Sepahi. 1996. Comparison among sweet sorghum cultivars, lines, and hybrids for sugar production. *Annu. Plant Physiol.* 10: 50-55.
- Bitzer, M. 2009. Research report: early deheading of sweet sorghum. National Sweet Sorghum Producers and Processors Association. <http://nssppa.org/>.
- Borrell A.K., G.L. Hammer, and A.C.L. Douglas. 2000. Does maintaining green leaf area in sorghum improve yield under drought? I. Leaf growth and senescence. *Crop Science* 40:1026–1037.

- Borrell, A.K., D.J. Jordan, J. Mullet, R.G. Henzell, and G. Hammer. 2006. Drought adaptation in sorghum. In: J.M. Ribaut (Eds.). *Drought Adaptation in Cereals*. Haworth Press Inc., New York. pp. 335–399.
- Budar, F. and G. Pelletier. 2001. Male sterility in plants: occurrence, determinism, significance and use. *Life Sciences* 324: 543–550.
- Centre for plant breeding. 2011. Sweet sorghum production technology. Department of Millet, Centre for Plant Breeding and Genetics, Tamil Nadu Agricultural University, India. p. 2.
- Chiaramonti, D., G. Grassi, A. Nardi, and H.P. Grimm. 2004. ECHI-T: large bioethanol project from sweet sorghum in China and Italy. *Energia Trasporti Agricoltura*, Florence, Italy.
- Corner, A.B. and R.E. Karper. 1927. Hybrid vigor in sorghum. *Texas Agricultural Experiment Station Bulletin* no. 359. College Station, Texas, USA; Texas A&M University.
- Dinesh, H.B., M.R.G. Rao, A.M. Rao, S.J.S. Naik, H.N. Chetan, and C.S. Shantharaja. 2013. Evaluation of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) cultivars for ethanol yield as an alternative source for bio-energy. *Research Journal of Agricultural Sciences* 4(2):184-187.
- Doggett, H. 1970. *Sorghum*. Longmans, Green and Co. Ltd. London.
- Doggett, H. 1988. *Sorghum*. 2nd ed. Tropical Agriculture Series. Harlow, UK; Longman.
- Du, Ruiheng. Sweet sorghum genetics, breeding and plantation studies in China. <http://www.ars.usda.gov/meetings/Sorghum/presentations/Du%20Ruiheng.pdf>.
- Elangovan, G.M., P.K. Babu, N. Seetharama, and J.V. Patil. 2013. Genetic diversity and heritability characters associated in sweet sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *Research Article, Sugar Tech*. p. 11.
- FAO. 2002. Sweet Sorghum in China. Agriculture and consumer protection, Food agricultural organization of United Nations, Department.
- Fernandez, J. and M.D. Curt. 2005. New energy crops for bioethanol production in the Mediterranean region. *International Sugar Journal* 107(1283): 622-627.
- Glover, J., M. Grelon, S. Craig, A. Chaudury, and L. Dennis. 1998. Cloning and characterisation of MS5 from Arabidopsis: a gene critical in male meiosis. *Plant J.* 15:345–356.
- Hoeman, S. 2007. Peluang dan potensi pengembangan sorgum. Makalah pada Workshop "Peluang dan tantangan sorgum sebagai bahan baku bioetanol. Dirjen Perkebunan, Departemen Pertanian. Jakarta. 10 hal.

- House, L.R. 1985. A Guide to sorghum breeding. Second Edition. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. ICRISAT Patancheru P.O. Andhra Pradesh 502 324, India. p.208.
- Juerg, B., W. Thompson, W. Rooney, and B. Bean. 2009. Management of biomass and sweet sorghum in the Southwest US. Abstract. International Annual Meetings. ASA-CSSA-SSSA. 1-5 Nov. Pittsburgh, PA.
- Karper, R. E. and J.R. Quinby. 1937. Hybrid vigour in sorghum. *Journal of Heredity* 28:81-91.
- Kennedy, D. and J.A. Turner. 2004. Sustainable hydrogen production. *Science* 305(5686):72- 974.
- Lingle, S.E. 1987. Sucrose metabolism in the primary culm of sweet sorghum during development. *Crop Sci.* 27:1214–1219.
- Mahalakshmi, V. and F.R. Bidinger. 2002. Evaluation of staygreen sorghum germplasm lines at ICRISAT. *Crop Sci* 42:965–974.
- Makanda, I., P. Tongoona, and J. Derera. 2009. Quantification of genotypic variability for stem sugar accumulation and associated traits in new sweet sorghum varieties. *African Crop Science Conference Proceedings* 9:391–398.
- Maunder, A.B. and G.I. Sharp. 1963. Localization of outcrosses within the panicle of fertile sorghum. *Crop Sci.* 3:449-450.
- Miller, F.R. and R.A. Creelman. 1980. Sorghum-a new fuel. In Loden, H.D. and Wilkinson, D. (eds.). *Proceeding of 35th Annual Corn Sorghum Res. Conference of American Seed Trade Association, Chicago IL.* Pp. 219-232.
- Moffatt, B.A. and C.R. Sommerville. 1988. Positive selection for male-sterile mutants of *Arabidopsis thaliana* lacking adenine phosphoribosyltransferase activity. *Plant Physiol* 86:1150-1154.
- 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 Sci.* 48:2165–2179.
- Natoli, A., C. Gorni, F. Chegdani, P.A. Marsan, C. Colombi, C. Lorenzoni, and A. Marocco. 2002. Identification of QTLs associated with sweet sorghum quality. *Maydica* 47:311–322.
- Pabendon, M.B., S. Mas'ud, R.S. Sarungallo, dan Amin Nur. 2012a. Penampilan fenotipik dan stabilitas sorgum manis untuk bahan baku bioetanol. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*, 31 (1): 60-69.

- Pabendon, M.B., R.S. Sarungallo, dan S. Mas'ud. 2012b. Pemanfaatan nira batang, bagas, dan biji sorgum manis sebagai bahan baku bioetanol. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 31(3):180-187.
- Pendleton, B.B., G.L. Teetes, and G.C. Peterson. 1994. Phenology of sorghum flowering. *Crop Sci.* 34:1263-1266.
- Quinby, J.R., J.D. Hesketh, and R.L. Voight. 1973. Influence of temperature and photoperiod on floral initiation and leaf number in sorghum. *Crop Sci.* 13:243-246.
- Quinby, J.R. 1974. Sorghum improvement and the genetics growth. College Station, Texas, USA; Texas A&M University.
- 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, BVS. 2007. Sweet sorghum, a water saving bioenergy crop for the Philippines. Sweet sorghum flyer. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT) Philippines.
- Reddy, B.V.S., A.A. Kumar and W.D. Dar. 2007. Overview of sweet sorghum breeding at ICRISAT: Opportunities and constraints. Global Consultation on Pro-poor Sweet Sorghum Development for Bioethanol Production and Introduction to Tropical Sugar Beet Agenda 8-9 Nov 2007, Rome, Italy. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT) Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India
- Reddy B.V.S and R.P. Sanjana. 2003. Sweet sorghum: characteristics and potential. *International Sorghum and Millets Newsletter* 44: 26-28.
- Reddy, B.V.S., S. Ramesh, P.S. Reddy, B. Ramaiah, P.M. Salimath, and K. Rajashekar. 2005. Sweet sorghum – a potential alternate raw material for bioethanol and bioenergy. *International Sorghum and Millets Newsletter*, 46:79-86.
- Reddy B.V.S., S. Ramesh, S.P. Reddy, A.A. Kumar, K.K. Sharma, K.S.M. Chetty, and A.R. Palaniswamy. 2006. Sweet sorghum: food, feed, fodder and fuel crop. The International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT), Patancheru, Andhra-Pradesh, India. p. 8.
- Reddy, B.V.S, S. Ramesh, A.A. Kumar, S.P. Wani, R. Ortiz, H. Ceballos, and T.K. Sreedevi. 2008. Bio-fuel crops research for energy security and rural development in developing countries. *Bioenergy Research* 1:248–258.
- Renewable Fuels Association. 2010. Ethanol industry outlook: cimate of opportunity. http://www.ethanolrfa.org/industry/outlook/RFAoutlook2010_fin.pdf.

- Salisbury, F.B. and C.W. Ross. 1992. Plant physiology (4th edition), Wadsworth Publishing, Belmont, California.
- Sanchez, M. 2007. Latin America: the persian gulf of biofuels? The Washington Post Company, USA.
- Schaffert, R.E. 1992. Sweet sorghum substrate for industrial alcohol, in: Utilization of sorghum and millets. Proceedings of the International workshop on policy, practice, and potential relating to uses of sorghum and millets, 8-12 Feb. 1988, ICRISAT Center, Bulawayo, Zimbabwe. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. p. 131-137.
- Schaffert, R.E. and L.M. Gourley. 1982. Sorghum as an energy source, in: Sorghum in the eighties: Proceedings of the International Symposium on Sorghum, 2-7 Nov. 1981, ICRISAT Center, India. p. 605-623.
- Smith, G.A. and D.R. Buxton. 1993. Temperate zone sweet sorghum ethanol production potential. *Bioresource Tech* 43(1):71-75.
- Stephens, J.C. and R.F. Holland. 1954. Cytoplasmic male-sterility for hybrid sorghum seed production. *Agronomy J.* 46:20-23.
- Sungkono, T., D. Wirnas, D. Sopandie, S. Human, dan M.A. Yudiarto. 2009. Pendugaan parameter genetik dan seleksi galur mutan sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) di Tanah Masam. *J. Agron. Indonesia* 37(3):220-225.
- Tarpley, L. and D.M. Vietor. 2007. Compartmentation of sucrose during radial transfer in mature sorghum culm. *BMC Plant Biol.* 7:33.
- Tarpley, L., D.M. Vietor, and F.R. Miller. 1994. Internodal compartmentation of stem-infused [¹⁴C] sucrose in sweet and grain sorghum. *Crop Sci.* 34:1116-1120.
- Van der Meer, I.M., M.E. Stam, A.J. Van Tunen, J.N. Mol, and A.R. Stuitje. 1992. Antisense inhibition of flavonoid biosynthesis in *Petunia* anthers results in male sterility. *Plant Cell*, 4:253-262.
- Vries, S.C. de, K.E. Giller, M.K. van Ittersum, and G.W.J. van de Ven. 2010. Resource use efficiency and environmental performance of nine major biofuel crops, processed by first-generation conversion techniques. *Biomass and Bioenergy* 34(5): 588-601.
- Wilson, G.L. and J.D. Eastin. 1982. The sorghum plant and its environment. These Proceedings: ICRISAT.
- Woods, J. 2000. Integrating sweet sorghum and sugarcane for bioenergy: modelling the potential for electricity and ethanol production in SE Zimbabwe, in: Division of Life Science. 2000, King's College, University of London, London. p. 266.

- 
- 
- Wortmann, C.S., A.J. Liska, R.B. Ferguson, D.J. Lyon, R.M. Klein, and I. Dweikat. 2010. Dryland performance of sweet sorghum and grain crops for biofuel. *Agron J.* 102(1):319-326.
- Wortmann, C.S. and T. Regassa. 2011. Sweet sorghum as a bioenergy crop for the US great plains. Department of Agronomy and Horticulture, University of Nebraska- Lincoln, Lincoln, USA. 16pp.
- Yu, J., X. Zhang, and T. Tan. 2009. Optimization of media conditions for the production of ethanol from sweet sorghum juice by immobilized *Saccharomyces cerevisiae*. *Biomass and Bioenergy* 33(3):521-526.