

Pemanfaatan Nira Batang, Bagas, dan Biji Sorgum Manis sebagai Bahan Baku Bioetanol

Marcia B. Pabendon¹, Rosalia S. Sarungallo², dan S. Mas'ud¹

¹Balai Penelitian Tanaman Serealia
 Jl. Dr. Ratulangi No. 274 Maros, Sulawesi Selatan
 Email: marcia.pabendon@gmail.com

²Universitas Kristen Indonesia Paulus (UKIP)
 Kampus Baru UKIP, Jl. Biringromang, Km 13, Makassar

Naskah diterima 18 Juli 2011 dan disetujui diterbitkan 9 November 2012

ABSTRACT. Prospect of the using of Stem Juice, Bagasse, and Grain of Sweet Sorghum as Raw Material for Bioethanol Production. The study was conducted at ICERI (Indonesian Cereals Research Institute), at the Laboratory of Chemical Engineering, Paulus Christen University (UKIP), and at Laboratory of Bioprocess, Department of Chemical Engineering, Polytechnic Ujung Pandang, from March to November 2010. The aim of this study was to determine the potential ethanol production derived from juice, bagasse (cellulose), and sorghum grain (starch). Eleven sweet sorghum genotypes were tested, local varieties Selayar Hitam, Sorghum Hitam, and variety Numbu were used as checks. The results showed that yield of stem biomass, high brix sugar content, high yield of bagasse, high grain yield, and high content of glucose derived from grain were characters that could be used as criteria for selection of sorghum genotypes producing high ethanol per unit area. These characters were correlated with the ethanol production per unit area. Genotypes 1521A, 15011A, and Watar Hammu Putih were prospective sweet sorghum for the ethanol production. These genotypes were supported by high yield of stem biomass per unit area, high brix sugar content, and high grain yield than check varieties, except for Watar Hammu Putih. Although all of the three raw materials had the potential use for bioethanol production, stem juice and bagasse were more suitable to be used than the grain, since it would not compete with the use of grain for food.

Keywords: Bioethanol, sweet stalk sorghum, bagasse, seed, sweet sorghum.

ABSTRAK. Evaluasi nira batang, bagase, dan biji sorgum manis (*Sorghum bicolor* (L.) sebagai bahan baku bioetanol melalui proses fermentasi menggunakan ragi *Saccharomyces cerevisiae* telah dilakukan di Balitsereal, Maros; Laboratorium Teknik Kimia, Universitas Kristen Indonesia Paulus (UKIP), dan Laboratorium Bioproses, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Ujung Pandang, dari Maret hingga Nopember 2010. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi nira batang, bagase (selulose), dan biji (pati) sorgum sebagai bahan baku untuk produksi bioetanol, dan untuk mengetahui genotipe sorgum yang menghasilkan bioetanol tinggi. Genotipe sorgum yang digunakan adalah Lokal Selayar Hitam, Varietas Numbu, dan Lokal Sorgum Hitam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil biomas batang yang tinggi, kadar gula brix untuk bioetanol yang bersumber dari nira batang, hasil bagase yang tinggi, hasil biji dan kadar glukosa yang tinggi untuk etanol yang bersumber dari biji, merupakan karakter yang dapat dijadikan sebagai kriteria untuk seleksi genotipe sorgum manis yang baik untuk produksi bioetanol tinggi per satuan luas. Pemilihan karakter ini berdasarkan nilai koefisien korelasi yang cukup tinggi antara karakter-karakter tersebut dengan produksi etanol per satuan luas.

Genotipe sorgum manis 15021A, 15011A, dan Watar Hammu Putih prospektif sebagai bahan baku bioetanol. Genotipe harapan 15021A dan 15011A memiliki bobot biomas, kadar gula brix, dan potensi hasil biji yang tinggi dibanding dengan varietas pembanding. Walaupun ketiga sumber bahan baku yang digunakan memiliki potensi untuk menghasilkan bioetanol, yang paling aman untuk digunakan adalah nira batang dan bagase, karena menghasilkan etanol yang lebih tinggi dan tidak berkompetisi dengan kebutuhan pangan.

Kata kunci: Bioetanol, nira batang, bagas, biji, sorgum manis.

Etanol dari biomas sorgum dapat berfungsi sebagai substitusi Bahan Bakar Minyak (BBM) bensin dan menjadi alternatif sumber energi terbarukan. Selama ini etanol diproduksi menggunakan tetes tebu dan biji jagung. Pada masa yang akan datang, etanol akan banyak diproduksi dari bahan baku yang lebih murah atau dari bahan nonpangan yang mengandung lignoselulosa seperti sampah kota. Tanaman sorgum manis berpotensi digunakan sebagai sumber bioetanol yang mungkin lebih murah dan tidak bersaing dengan bahan pangan.

Biomas dari tanaman sorgum manis dapat dibagi ke dalam tiga kategori, yaitu bahan baku gula yang berasal dari nira batang, bagas (selulosa) dan biji (pati) (Badger 2002). Pada saat biji sorgum manis matang fisiologis maka total biomas terdiri atas sekitar 75% batang, 10% daun, 5% biji, dan 10% akar (Grassi *et al.* 2002). Penelitian Shiringani dan Friedt (2009) memperoleh kadar gula brix dari nira batang sorgum manis berkisar antara 5,67-22,67% dengan rata-rata 11%, sedangkan Vermerris *et al.* (2007) menghasilkan total gula dalam nira berkisar antara 9-15%. Bagas diperoleh setelah batang sorgum diekstraksi niranya, yang limbahnya berupa selulosa dan masih dapat digunakan untuk menghasilkan etanol (Jacques *et al.* 1999). Lignin dan selulosa pada biomas tanaman juga perlu diperhitungkan karena proses konversi energi solar menjadi glukosa dan senyawa kompleks menggunakan batang tanaman untuk menimbun sejumlah lignoselulosa sebagai gula sederhana.

Kresovich dan Henderlong (1984) yang menganalisis kelayakan produksi etanol sorgum menyimpulkan bahwa sorgum dapat dijadikan materi bahan baku etanol, jika semua gula selulosa dapat dihidrolisis secara efisien dan dikonversi menjadi etanol. Menurut Almodares dan Sepahi (1996), tingkat akumulasi gula pada batang bervariasi antar kultivar. Kandungan karbohidrat nonstruktural dari sorgum dipengaruhi oleh temperatur dan waktu (Almodares *et al.* 2000), kematangan (Almodares *et al.* 1994), percabangan, pemupukan, dan jarak tanam (Almodares *et al.* 2008).

Di Indonesia, etanol dijadikan sebagai bahan baku kosmetik dan farmasi, industri, dan dapat pula sebagai substitusi bensin. Seluruh komponen biomassa sorgum dapat digunakan sebagai bahan baku etanol, pangan, dan pakan, yaitu (a) dari hasil 4-6 t/ha biji dapat dihasilkan 3,6 ton tepung pati atau 1.800 l etanol per ha, (b) dari batang dapat dihasilkan 25 t/ha nira yang akan menghasilkan 2.300 l etanol/ha. Produk lain berupa bagas dapat menghasilkan 3.880 l etanol/ha, dan (c) dari daun dapat dihasilkan 42,4 t/ha biomas (Sumaryono 2006). Pemanfaatan bagas dapat meningkatkan hasil etanol sorgum manis 30-40% (Bálint 2010, Dolciotti *et al.* 1998). Hingga kini belum ada varietas sorgum yang dilepas khusus untuk tujuan bahan baku etanol. Sorgum manis yang sudah dilepas antara lain varietas Numbu ditujukan untuk pangan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi produksi etanol dari bahan baku nira batang, bagas, dan biji beberapa genotipe sorgum manis.

BAHAN DAN METODE

Penelitian di lapangan dilakukan di Kebun Percobaan (KP) Balitserereal di Maros pada bulan Maret-Juli 2010. Pengolahan sorgum manis menjadi etanol dari nira batang, bagas, dan biji sorgum manis dilakukan di Laboratorium Kimia, UKI Paulus Makassar dan Laboratorium Bioproses, Politeknik Negeri Ujung Pandang pada bulan Agustus-Oktober 2010.

Bahan penelitian terdiri atas 11 genotipe sorgum manis dengan pembanding varietas lokal Selayar Hitam, varietas Numbu, dan varietas lokal Sorgum Hitam. Varietas Numbu adalah varietas sorgum manis yang dilepas untuk pangan. Varietas lokal Selayar Hitam dan Sorgum Hitam juga sorgum manis yang banyak ditanam di Pulau Selayar Sulawesi Selatan dan NTT.

Nira diperoleh dari batang sorgum manis yang dipanen pada saat biji matang fisiologis. Ampas dari perasan nira atau bagas difermentasi lagi untuk

mendapatkan etanol. Biji sorgum juga difermentasi menjadi etanol.

Ekstraksi nira dari batang mengikuti prosedur Tolage dan Tande (2009). Proses pembuatan etanol dari bagas sorgum manis mengikuti prosedur Samsuri *et al.* (2007). Proses pembuatan etanol dari biji sorgum manis mengikuti prosedur Wahyuni (2008).

Data yang dikumpulkan untuk masing-masing sumber bioetanol: (a) nira batang yaitu hasil biomas batang (t/ha), kadar gula brix nira batang menggunakan refractometer, volume nira (per kg batang), rendemen etanol hasil fermentasi, dan perkiraan produk etanol (ha); (b) bagas yaitu hasil bagas (t/ha), volume etanol (per kg bagas), rendemen etanol dari bagas, dan perkiraan produk etanol (ha) dari bagas (l/ha); (c) biji yaitu hasil biji (t/ha), kadar tannin biji (%), kadar glukosa biji (%), rendemen etanol dari biji (%), volume etanol (per kg biji), perkiraan produk etanol dari biji per ha (l).

Pada penelitian ini, data hasil biji per ha tidak dapat diperoleh karena tanaman terserang hama burung, sehingga untuk perkiraan produk etanol menggunakan data dari uji adaptasi pada enam lokasi MT 2009, yaitu di Enrekang (Sulawesi Selatan), Karangasari dan Karanganyar (Yogyakarta), Bogor (Jawa Barat), Onembute (Sulawesi Tenggara), dan Naibonat (NTT).

Analisis data untuk etanol yang bersumber dari nira batang menggunakan program IRRI-stat. Uji beda nyata menggunakan nilai BNT (beda nyata terkecil) sedangkan kedua sumber etanol lainnya, yaitu bagas dan biji, tidak dianalisis secara statistik karena tidak ada ulangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Produksi Etanol Sorgum Manis dari Nira Batang

Hasil biomas batang, kadar gula brix, rendemen etanol, produk etanol per kg batang sorgum manis saat panen, dan perkiraan volume etanol hasil fermentasi disajikan pada Tabel 1. Hasil biomas batang berkisar antara 12,99-33,47 t/ha. Terdapat dua genotipe yang hasil biomas batangnya berbeda nyata dengan ketiga varietas pembanding yaitu 15021A (33,47 t/ha) dan Watar Hammu Putih (29,98 t/ha). Tiga genotipe yang berbeda nyata dengan varietas Selayar Hitam dan Numbu adalah 4-183A (25,31 t/ha), 15011A (25,36 t/ha), dan 15011A (26,15 t/ha). Tiga genotipe yang berbeda nyata dengan varietas Numbu adalah 5-193C (24,45 t/ha), 1090A (21,14 t/ha), dan 15105B (22,32 t/ha).

Kandungan gula brix batang merupakan penciri sorgum batang manis. Kadar gula brix berkisar antara 7,67-12,67%, rata-rata 10,02%. Terdapat dua genotipe

yang menghasilkan kadar gula brix yang lebih tinggi dan berbeda nyata, baik dengan varietas Numbu maupun lokal Selayar Hitam dan Sorgum Hitam, yaitu Watar Hammu Putih (12,33%) dan 15021A (12,67%).

Volume etanol sorgum manis hasil fermentasi berkisar antara 260-301ml/kg batang, sedangkan pada masing-masing varietas pembanding adalah 291 ml/kg (varietas lokal Selayar Hitam), 306 ml/kg (varietas Numbu), dan 289 ml/kg batang sorgum (varietas lokal Sorgum Hitam). Tidak terdapat genotipe yang menghasilkan etanol yang lebih tinggi dari varietas Numbu maupun lokal Selayar Hitam dan Lokal Sorgum Hitam.

Fermentasi menghasilkan etanol dengan rendemen 4,8-5,8%, rata-rata 5,00%. Hanya satu genotipe yang mempunyai rendemen etanol yang lebih tinggi dari varietas Numbu, yaitu genotipe Watar Hammu Putih (5,83%) yang menunjukkan bahwa persentase etanol dalam larutan lebih tinggi dibandingkan genotipe lainnya. Jika dilanjutkan ke proses destilasi untuk memperoleh etanol dengan tingkat kemurnian yang lebih tinggi, maka genotipe dengan rendemen etanol yang lebih tinggi akan mengalami penyusutan volume yang lebih kecil dibandingkan dengan rendemen etanol yang lebih rendah.

Jika data hasil etanol diekstrapolasi ke ton per hektar berdasarkan hasil biomas batang, maka perkiraan hasil etanol berkisar antara 3.131-7.819 l/ha, rata-rata 6.726 l/ha. Perkiraan hasil etanol tinggi terdapat pada genotipe

15021A sebesar 7.819 l/ha dan Watar Hammu Putih 7.139,3 l/ha. Kedua genotipe tersebut mempunyai gula brix yang tinggi dan berbeda nyata dengan ketiga varietas pembanding. Terdapat lima genotipe dengan perkiraan hasil etanol lebih tinggi dari varietas Sorgum Hitam (5.921 l/ha), yaitu Watar Hammu Putih (7.139 l/ha), 4-183A (6.160 l/ha), 15011A (5.978 l/ha), 15011B (6.067 l/ha), dan 15021A (7.819 l/ha). Etanol hasil fermentasi masih terdiri atas air dan etanol. Melalui proses destilasi bertingkat untuk menguapkan air, akan diperoleh etanol lebih sesuai peruntukannya. Proses tersebut akan mengalami penyusutan volume 30-50%. Jika diasumsikan terjadi penyusutan volume rata-rata 50% maka perkiraan hasil etanol destilasi berkisar antara 1.566-3.909 l/ha, rata-rata 2.690 l/ha per musim tanam. Perkiraan hasil destilasi ketiga varietas pembanding masing-masing 2.912 l/ha, 2.272 l/ha, dan 2.961 l/ha.

Hasil analisis korelasi sederhana dari karakter-karakter penting yang diamati pada nira batang dapat dilihat pada Tabel 2. Hasil etanol per satuan luas vs kadar gula brix berkorelasi cukup tinggi (0,76). Gula brix merupakan padatan dalam cairan nira yang terdiri atas gula, asam akonitat, dan amilum dimana gula brix merupakan porsi terbesar (Ditjen Perkebunan 1996). Jadi yang terukur bukan hanya gula tetapi juga material lain seperti asam akonitat. Namun kadar gula brix masih dapat menjadi salah satu penanda perkiraan hasil etanol yang tinggi. Hasil etanol per satuan luas vs rendemen etanol memiliki nilai korelasi lebih kecil (0,10). Rendemen

Tabel 1. Biomas batang sorgum manis, kadar gula brix nira batang, volume etanol, rendemen etanol, dan perkiraan etanol hasil fermentasi. Maros, MT 2010.

Genotipe	Hasil biomas batang (t/ha)	Kadar gula brix (%)	Volume etanol per kg batang sorgum (ml)	Rendemen etanol (%)	Perkiraan etanol hasil fermentasi (l/ha)
Watar Hammu Putih	29,98 ^{abc}	12,33 ^{abc}	298	5,83 ^b	7.139
4-183A	25,21 ^{ab}	11,00	298	4,97	6.010
5-193C	24,45 ^b	9,00	260	4,87	5.094
15011A	25,36 ^{ab}	9,67	295	4,97	5.978
15019B	15,01	10,67	295	5,03	3.544
15011B	26,15 ^{ab}	10,33	290	4,83	6.067
15131B	18,49	9,17	292	5,13	4.319
15020A	12,99	7,67	301	5,03	3.131
1090A	21,14 ^b	9,50	288	4,97	4.878
15105B	22,32 ^b	9,33	295	4,80	5.262
15021A	33,47 ^{abc}	12,67 ^{abc}	292	4,83	7.819
Selayar hitam (a)	24,16	9,83	291	4,77	5.624
Numbu (b)	18,58	9,83	306	5,13	4.544
Sorgum hitam (c)	25,59	9,33	289	4,80	5.921
Rata-rata	23,06	10,02	292	5,00	5.381
KK (%)	5,00	16,00	4,90	3,80	-

Notasi a berbeda nyata dengan lokal Selayar Hitam, notasi b berbeda nyata dengan varietas Numbu, dan notasi c berbeda nyata dengan lokal Sorgum Hitam berdasarkan uji beda nyata BNT 5%.

Tabel 2. Korelasi rendemen etanol dan gula brix dengan hasil bioetanol.

Korelasi	Nilai korelasi (r)
Perkiraan perolehan etanol/ha vs kadar gula brix (%)	0,76
Perkiraan perolehan etanol/ha vs rendemen etanol (%)	0,10
Perkiraan perolehan etanol (l/ha) vs hasil biomass batang (t/ha)	0,98
Perkiraan perolehan etanol/ha vs volume etanol per kg batang	-0,09
Rendemen etanol (%) vs kadar gula brix (%)	0,37

etanol banyak dipengaruhi oleh metode fermentasi yang digunakan (Asli 2010, Liu and Shen 2008, Sipos *et al.* 2008, Jones 1994, Kundiyana *et al.* 2010). Hasil etanol per satuan luas vs hasil biomass batang per satuan luas (ha) memberikan nilai korelasi tertinggi (0,98). Hal ini menunjukkan bahwa selain kadar gula brix, bobot biomass batang juga merupakan salah satu kriteria utama dalam menyeleksi sorgum manis dengan produksi etanol tinggi. Volume etanol per kg batang sorgum vs hasil etanol per ha berkorelasi negatif (-0,09), yang mengindikasikan bahwa walaupun volume etanol per kg tinggi jika bobot biomass per satuan luas rendah maka hasil etanol yang diperoleh juga rendah. Korelasi kadar gula brix dengan rendemen etanol 0,37, menunjukkan bahwa kadar gula brix yang tinggi cenderung menghasilkan rendemen etanol yang juga tinggi.

Produksi Etanol Sorgum Manis dari Bagas

Hasil bagas per satuan luas berkisar antara 2,76 t/ha (15020A) hingga 7,10 t/ha (15021A), dengan rata-rata 4,9 t/ha (Tabel 3). Terdapat tiga genotipe yang menghasilkan bagas lebih tinggi dari salah satu varietas pembanding dengan hasil bagas tertinggi (varietas lokal Sorgum Hitam, 5,43 t/ha), yaitu genotipe Watar Hammu Putih (6,36 t/ha), 15011B (5,55 t/ha), dan 15021A (7,10 t/ha).

Volume etanol per kg bagas dari batang berkisar antara 1.290 ml (1090A) sampai 2.130 ml (15011A), rata-rata 1.680 ml. Hanya genotipe 15011A yang menghasilkan etanol per kg bagas lebih tinggi dari ketiga varietas pembanding (Selayar Hitam 1.710 ml/kg, Numbu 2.100 ml/kg, dan Sorgum Hitam 1.620 ml/kg). Hasil etanol yang bervariasi mengindikasikan adanya perbedaan kandungan bahan lignoselulosa atau selulosa di antara genotipe. Lignin dalam tanaman berfungsi sebagai penguat batang, namun tidak mengandung gula. Selain itu lignin membungkus molekul selulosa dan hemiselulosa yang menyebabkan serat-serat tersebut sulit dihidrolisis. Jika kandungan lignin tinggi maka produksi gula hasil hidrolisis akan rendah. Dalam

Tabel 3. Hasil bagas, volume etanol per kg bagas, rendemen etanol, dan perkiraan hasil etanol.

Genotipe	Hasil bagas (t/ha)	Volume etanol per kg bagas (ml)	Rendemen etanol (%)	Perkiraan perolehan etanol dari bagas hasil fermentasi (l/ha)
Watar Hammu Putih	6,36	1.295	8,6	6.588
4-183A	5,35	1.560	10,4	6.674
5-193C	5,19	1.785	11,9	7.406
15011A	5,38	2.130	14,2	9.166
15019B	3,18	2.000	13,3	5.094
15011B	5,55	1.571	10,5	6.973
15131B	3,92	1.605	10,7	5.036
15020A	2,76	1.840	13,2	4.056
1090A	4,48	1.290	8,6	4.628
15105B	4,73	1.545	10,3	5.852
15021A	7,10	1.470	9,8	8.349
Selayar hitam	5,12	1.710	11,4	7.011
Numbu	3,94	2.100	14,0	6.621
Sorgum hitam	5,43	1.620	10,8	7.035
Rata-rata	4,89	1.680	11,2	6.463

penelitian ini kandungan masing-masing bahan lignoselulosa tidak diamati.

Rendemen etanol bagas lebih tinggi daripada nira batang, berkisar antara 8,6% (Watar Hammu Putih dan 1090A) sampai 14,2% (15011A), rata-rata 11,2%. Hanya satu genotipe yang menghasilkan rendemen etanol lebih tinggi dari salah satu varietas pembanding dengan nilai rendemen tertinggi (Numbu, 14,0%), yaitu genotipe 15011A. Perbedaan kandungan atau jenis selulosa seperti polimer-polimer pentosa dan hexosa, lignin, lilin, dan bahan lainnya kemungkinan berpengaruh terhadap efektivitas fermentasi.

Perkiraan etanol hasil fermentasi dari bagas berkisar antara 4.056 l/ha (15020A) sampai 9.166 l/ha (15011A), rata-rata 6.463 l/ha atau perkiraan hasil destilasi dengan asumsi terjadi penyusutan volume sebesar 50% berkisar antara 2.028-4.583 l/ha, rata-rata 3.232 l/ha. Terdapat tiga genotipe dengan perkiraan hasil etanol lebih tinggi dari salah satu varietas pembanding dengan hasil etanol tertinggi (Numbu, 7.034 l/ha) yaitu genotipe 5-193C (7.406 l/ha), 15011A (9.166 l/ha), dan 15021A (8.349 l/ha). Hasil etanol yang tinggi pada genotipe 5-193C dan 15011A didukung oleh volume etanol per kg bagas dan rendemen etanol yang tinggi, sedangkan genotipe 15021A didukung oleh hasil bagas yang tinggi.

Korelasi antara hasil etanol per ha vs volume etanol per kg bagas positif namun nilainya kecil (0,19) (Tabel 4). Demikian pula nilai korelasi hasil etanol per ha vs rendemen etanol yang juga kecil (0,10). Diperkirakan kandungan bahan lignoselulosa masing-masing genotipe berbeda sehingga korelasi hasil etanol

per ha terhadap volume etanol per kg batang dan rendemen etanol nilainya rendah. Perkiraan hasil etanol per ha vs hasil bagas per ha menghasilkan nilai korelasi yang cukup tinggi (0,76). Dengan demikian, hasil bagas dapat dijadikan sebagai salah satu kriteria seleksi dalam memilih genotipe yang potensial menghasilkan etanol yang bersumber dari bagas sorgum manis. Salah satu kelemahan dari pemanfaatan bagas adalah proses pembuatannya lebih panjang dibandingkan dengan proses pembuatan etanol dari nira batang sorgum.

Produksi Etanol Sorgum Manis dari Biji

Kadar glukosa berkisar antara 21,7% (1090A) sampai 23,8% (4-183A, 15131B, dan 15021A), rata-rata 22,8% (Tabel 5). Kadar glukosa tidak jauh berbeda antara genotipe yang satu dengan yang lainnya. Terdapat lima genotipe yang menghasilkan kadar glukosa lebih tinggi dari salah satu varietas pembanding dengan kadar glukosa tertinggi Selayar Hitam (23%). Kelima genotipe

tersebut adalah 4-183A (23,7%), 15011A (23,5%), 15011B (23,5%), 15131B (23,7%), dan 15021A (23,7%).

Kadar tanin dalam biji berkisar antara 0,04 (15020A) sampai 0,82 (15011A). Seperti diketahui, tanin akan menghambat proses fermentasi sehingga akan berpengaruh terhadap hasil etanol. Jika biji akan dimanfaatkan untuk pangan atau pakan maka sebaiknya dihindari menggunakan biji dengan kadar tanin tinggi. Genotipe yang mengandung tanin kadar rendah adalah 15020A, hasil etanol paling tinggi dari biji yaitu 2.577 l/ha. Genotipe 15011A mengandung tanin paling tinggi dalam biji (0,82), namun masih mampu menghasilkan etanol yang relatif tinggi (2.040 l/ha). Hal tersebut kemungkinan disebabkan karena hasil biji juga tinggi.

Volume etanol per kg biji sorgum manis berkisar antara 0,98 l (15019B dan 15131B) sampai 1,41 (15021A), rata-rata 1,09%. Terdapat tiga genotipe yang menghasilkan etanol per kg biji lebih tinggi dari salah satu varietas pembanding tertinggi (Selayar Hitam 1,20 l/kg biji), yaitu 15020A (1,22 l/kg biji), 1090A (1,24 l/kg biji), dan 15021A (1,40 l/kg biji).

Rendemen etanol berkisar antara 9,8% (15131B) sampai 14,0% (15021A), rata-rata 10,85%. Terdapat tiga genotipe yang mempunyai rendemen etanol lebih tinggi dari salah satu cek yang tertinggi yaitu Selayar Hitam (12,0%). Ketiga genotipe tersebut adalah 15020A (12,2%), 1090A (12,4%), 15021A (14,0%).

Perkiraan hasil etanol berdasarkan hasil rata-rata hasil biji pada uji adaptasi pada di enam lokasi MT2009 berkisar antara 1.297-2.576 l/ha, rata-rata 1792 l/ha atau perkiraan hasil destilasi dengan asumsi terjadi

Tabel 4. Korelasi etanol hasil fermentasi dengan rendemen etanol, volume etanol per kg bagas, dan hasil bagas per ha.

Korelasi	Nilai korelasi (r)
Perkiraan perolehan etanol/ha vs rendemen etanol (%)	0,12
Perkiraan perolehan etanol (l/ha) vs volume etanol per kg bagas (l)	0,19
Perkiraan perolehan etanol (l/ha) vs hasil bagas (t/ha)	0,76

Tabel 5. Hasil biji sorgum manis, kadar tanin biji, kadar glukosa pati, volume etanol per kg biji, rendemen etanol, dan perkiraan hasil etanol dari biji per ha.

Genotipe	Hasil biji (t/ha)*	Kadar tanin biji (%)	Kadar glukosa pati (%)	Volume etanol per kg biji(l)	Rendemen etanol (%)	Perkiraan hasil etanol (l/ha)
Watar Hammu Putih	1,82	0,11	22,8	0,99	9,90	1.441
4-183A	2,38	0,09	23,7	0,99	9,90	1.885
5-193C	1,71	0,36	21,8	1,00	10,00	1.368
15011A	2,55	0,82	23,5	1,00	10,00	2.040
15019B	1,90	0,24	22,0	0,98	9,80	1.490
15011B	1,59	0,07	23,5	1,02	10,20	1.297
15131B	1,85	0,62	23,7	0,98	9,80	1.450
15020A	2,64	0,04	22,3	1,22	12,20	2.577
1090A	2,40	0,09	21,7	1,24	12,40	2.381
15105B	1,92	0,20	22,5	1,19	11,90	1.828
15021A	2,22	0,27	23,7	1,40	14,00	2.486
Selayar Hitam	1,80	0,16	23,0	1,20	12,00	1.728
Numbu	1,76	0,18	22,7	0,99	9,90	1.394
Sorgum Hitam	2,17	0,007	22,5	0,99	9,90	1.719
Rata-rata	2,05	0,23	22,8	1,09	10,90	1.792

* = Rata-rata hasil biji dari delapan lokasi uji multilokasi, MH 2009.

pengurangan volume sebesar 50% berkisar antara 649-1.288 l/ha, rata-rata 896 l/ha. Terdapat lima genotipe dengan perkiraan hasil etanol lebih tinggi dari salah satu cek tertinggi (Selayar Hitam, 2.844 l/ha) dan didukung oleh salah satu dari empat karakter lainnya (hasil biji per ha, kadar glukosa biji, volume etanol per kg biji, dan rendemen etanol hasil fermentasi). Kelima genotipe tersebut adalah 4-183A (1.885 l/ha) didukung oleh hasil biji dan kadar glukosa, 15011A (2.040 l/ha) didukung oleh hasil biji dan kadar glukosa, 15020A (2.577 l/ha) didukung oleh hasil biji, volume etanol, dan rendemen etanol, 1090A (2.381 l/ha) didukung oleh hasil biji, volume etanol, dan rendemen etanol, sedangkan genotipe 1.5021A (2.486 l/ha) didukung oleh hasil biji, kadar glukosa, volume etanol, dan rendemen etanol.

Tabel 6. Korelasi hasil etanol dengan rendemen etanol, volume etanol per kg biji, dan hasil biji per ha.

Korelasi	Nilai korelasi (r)
Perkiraan perolehan etanol/ha vs hasil biji (t/ha)	0,86
Perkiraan perolehan etanol (l/ha) vs kadar glukosa pati (%)	-0,03
Perkiraan perolehan etanol/ha vs volume etanol per kg biji (l)	0,78
Perkiraan perolehan etanol/ha vs rendemen etanol (%)	0,78
Hasil etanol per hektar vs kadar tannin biji (%)	-0,08
Volume etanol per kg biji vs kadar tannin biji (%)	-0,22

Korelasi antara hasil etanol per ha dengan hasil biji per hektar cukup tinggi yaitu 0,86 (Tabel 6). Hasil biji yang tinggi berimplikasi terhadap tingginya produksi pati yang akan dihasilkan per satuan luas, dimana pati yang akan diubah menjadi gula kemudian difermentasi menjadi etanol. Korelasi antara perolehan etanol per hektar vs kadar glukosa pati bernilai negatif (-0,03) yang menunjukkan bahwa kadar glukosa yang tinggi tidak akan selalu diikuti oleh hasil etanol tinggi. Seperti diketahui keberadaan tanin dalam biji berpengaruh negatif terhadap proses fermentasi. Data ini didukung oleh nilai korelasi antara volume etanol per kg batang dengan kadar tanin biji yang juga negatif (-0,22). Jadi hasil etanol berbanding terbalik dengan kadar tanin biji. Korelasi antara hasil etanol dengan volume etanol nilainya juga cukup tinggi yaitu 0,78. Nilai korelasi yang sama juga diperoleh antara hasil etanol per ha dengan rendemen etanol per kg biji (0,78).

Potensi produksi etanol hasil destilasi dengan asumsi terjadi penyusutan volume 50% dari volume hasil fermentasi yang bersumber dari masing-masing nira batang, bagas, biji, nira batang+bagas, nira batang +biji, bagas +biji, dan nira batang+bagas+biji, per hektar per musim disajikan pada Tabel 7. Hasil etanol tertinggi diperoleh dari genotipe 15021A (9.327 l/ha/musim tanam), dua genotipe lainnya menghasilkan etanol lebih tinggi dari varietas pembandingan yaitu 15011A (8.592 l/ha/musim tanam) dan Watar Hammu Putih (7.585 l/ha/musim tanam), rata-rata dari semua genotipe uji 6.818 l/

Tabel 7. Perkiraan hasil etanol jika dikonversi ke hasil destilasi pada nira batang, bagas, dan biji per ha per musim.

Genotipe	Perkiraan hasil etanol nira batang (l/ha)	Perkiraan hasil etanol bagas (l/ha)	Perkiraan hasil etanol biji (l/ha)	Perkiraan hasil etanol dari nira dan bagas (l/ha)	Perkiraan hasil etanol dari nira dan biji sorgum manis (l/ha)	Perkiraan hasil etanol dari bagas dan biji (l/ha)	Perkiraan hasil etanol dari nira, bagas, dan biji (l/ha)
Watar Hammu Putih	3.570	3.294	721	6.864	4.290	4.015	7.585
4-183A	3.005	3.337	942	6.342	3.948	4.279	7.284
5-193C	2.547	3.703	684	6.250	3.231	4.387	6.934
15011A	2.989	4.583	1.020	7.572	4.009	5.603	8.592
15019B	1.772	2.547	745	4.319	2.517	3.292	5.064
15011B	3.033	3.486	649	6.520	3.682	4.135	7.168
15131B	2.160	2.518	725	4.678	2.885	3.243	5.403
15020A	1.566	2.028	1.288	3.594	2.854	3.316	4.882
1090A	2.439	2.314	1.190	4.753	3.629	3.504	5.943
15105B	2.631	2.926	914	5.557	3.545	3.840	6.471
15021A	3.909	4.175	1.243	8.084	5.153	5.418	9.327
Selayar Hitam	2.812	3.505	864	6.318	3.676	4.369	7.182
Numbu	2.272	3.311	697	5.583	2.969	4.008	6.280
Sorgum Hitam	2.961	3.517	859	6.478	3.820	4.377	7.337
Rata-rata	2.690	3.232	896	5.922	3.586	4.128	6.818

Catatan: Data yang ditampilkan adalah data perkiraan perolehan etanol hasil destilasi dengan asumsi terjadi penyusutan volume 50% dari hasil fermentasi.

ha/musim tanam. Angka ini hampir sama dengan yang dilaporkan oleh Montross *et al.* (2009) bahwa total potensi etanol dari nira, selulosa (bagas), dan pati (biji) sorgum manis maksimum sekitar 8.000 l/ha.

Dari 11 genotipe yang diuji, terdapat tiga genotipe sorgum manis yang potensial dikembangkan sebagai bahan baku bioetanol, yaitu genotipe 15021A, 15011A, dan Watar Hammu Putih. Kelebihan dari genotipe 15021A dibandingkan dengan genotipe lainnya adalah hasil biomas, kadar gula brix pada nira batang, hasil bagas, hasil biji, kadar glukosa biji, dan rendemen etanol pada biji tinggi. Kekurangan dari genotipe 15021A adalah kadar tanin biji agak tinggi yaitu 0,27. Selain itu umur panen lebih dalam, berkisar antara 110-115 hari, genotipe uji lainnya hanya 100-110 hari. Kelebihan dari genotipe 15011A dibandingkan genotipe lainnya adalah hasil biomas batang, volume etanol per kg bagas, rendemen etanol dari bagas, hasil biji, dan kadar glukosa biji. Kekurangannya adalah kadar tanin biji tinggi (0,82). Kelebihan dari genotipe Watar Hammu Putih dibandingkan genotipe lainnya adalah kadar gula brix pada nira batang, bobot biomas batang, dan hasil bagas tinggi. Kekurangannya adalah rendemen etanol dari bagas, hasil biji, dan rendemen etanol dari biji rendah. Nampaknya genotipe Watar Hammu Putih sesuai untuk menghasilkan etanol khusus dari nira batang.

Ketiga jenis bahan baku etanol sorgum manis (nira batang, bagas, dan biji) potensial untuk menghasilkan bioetanol. Namun, untuk aplikasi di lapangan harus berdasarkan skala prioritas. Dari segi kemudahan proses pembuatan etanol yang paling mudah adalah dari nira batang, sedangkan bagas dan biji memerlukan proses lebih panjang. Potensi hasil biji dari sorgum manis lebih rendah dari sorgum biji (*grain sorghum*), karena fotosintat lebih banyak tertimbun di batang untuk memproduksi gula. Jika biji sorgum yang berasal dari sorgum biji belum menjadi prioritas untuk pemenuhan bahan pangan atau pangan fungsional, dimana potensi hasil biji lebih tinggi yaitu 5-7 t/ha (Pabendon *et al.* 2010) dibandingkan hasil biji dari sorgum batang manis hanya sekitar 2-5 t/ha (Pabendon *et al.* 2012), maka biji dari sorgum biji dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan bioetanol. Masalah lain, jika bahan baku bersumber dari biji adalah hama burung yang sukar dikendalikan, khususnya pada sorgum manis yang menghasilkan biji putih seperti Watar Hammu Putih.

Potensi lain dari bahan baku sorgum manis adalah kemampuan ratun yang dapat dilakukan sebanyak tiga kali. Jika lahan tersebut khusus untuk perkebunan sorgum, maka dalam satu tahun cukup sekali menanam biji, selanjutnya tanaman dapat diratun, sehingga menghemat biaya produksi. Namun pada tanaman ratun akan terjadi penurunan produksi sekitar 10-30%.

KESIMPULAN

1. Ketiga jenis bahan baku etanol dari sorgum manis, yaitu nira batang, bagas, dan biji potensial menghasilkan bioetanol, namun untuk aplikasi di lapangan harus sesuai dengan skala prioritas pemanfaatan bahan-bahan tersebut.
2. Genotipe sorgum manis yang prospektif sebagai bahan baku bioetanol adalah 15021A, 15011A, dan Watar Hammu Putih.
3. Hasil biomas batang, kadar gula brix pada nira batang, hasil bagas yang tinggi, hasil biji dan kadar glukosa yang tinggi pada biji dapat dijadikan kriteria pemilihan varietas untuk bahan baku bioetanol sorgum manis.

DAFTAR PUSTAKA

- Almodares, A., R. Taheri, M. Chung, and M. Fathi. 2008. The effect of nitrogen and potassium fertilizers on growth parameters and carbohydrate content of sweet sorghum cultivars. *J. Environ. Biol.* 29:849-852.
- Almodares, A. and A. Sepahi. 1996. Comparison among sweet sorghum cultivars, lines and hybrids for sugar production. *Annu. Plant Physiol.* 10:50-55.
- Almodares, A., A. Sepahi, and A. Karve. 1994. Effect of planting date on yield and sugar production of sweet sorghum. *Annu. Plant Physiol.* 8:49-54.
- Almodares, A., A. Sepahi, and A. Rezaie. 2000. Effect of breaking night period on sugar production in sweet sorghum plant. *Annu. Plant Physiol.* 14:21-25.
- Asli, M.S. 2010. A study on some efficient parameters in batch fermentation of ethanol using *Saccharomyces cerevisiae* SC1 extracted from fermented siahe sardasht pomace. *African Journal of Biotechnology* 9(20):2906-2912.
- Badger, P.C. 2002. Ethanol from Cellulose: A General Review. *Trends in New Crops and Uses*. Reprinted from: *Trends in new crops and new uses*. 2002. J. Janick and A. Whipkey (eds.). ASHS Press, Alexandria, VA.
- Bálint. 2010. Conversion of lignocelluloses to fermentable sugars for ethanol production. Thesis Book. Budapest University of Technology and Economics Faculty of Chemical Technology and Biotechnology.
- Direktorat Jenderal Perkebunan. 1996. Sorgum manis komoditi harapan di propinsi kawasan timur Indonesia. *Risalah Simposium Prospek Tanaman Sorgum untuk Pengembangan Agroindustri*, 17-18 Januari 1995. Edisi Khusus Balai Penelitian Tanaman Kacangkacangan dan Umbi-umbian 4: 6-12.
- Dolciotti, I., S. Mambelli, S. Grandi, and G. Venturi. 1998. Comparison of two sorghum genotypes for sugar and fiber production. *Industrial Crops Products* 7: 265-272.
- Grassi, G., Z. Qiong, A. Grassi, T. Fjällström, and P. Helm. 2002. Small-scale modern autonomous bioenergy complexes: development instrument for fighting poverty and social exclusion in rural villages. *Proceedings of the 12th European Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Change*, Amsterdam, The Netherlands, 17-21 June.

- Jaques, K.A., T.P. Lyons, and D.R. Kelsall. 1999. The alcohol Textbook. Nottingham University Press, 388p.
- Jones, A.M., K.C. Thomas, and W.M. Ingledew. 1994. Ethanolic fermentation of blackstrap molasses and sugarcane juice using very highgravity technology. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 42: 1242–1246.
- Kresovich, S. and P.R. Henderlong. 1984. Agronomic potential of sorghum as a raw material for ethanol production in central Ohio. *Energi Agric.* 3: 145-153.
- Kundiyana, D.K., D.D. Bellmer, R.L. Huhnke, M.W. Wilkins, and P.L. Claypool. 2010. Influence of temperature, pH and yeast on in-field production of ethanol from unsterilized yeast sorghum juice. *Biomass and Bioenergy* 34: 1481-1486.
- Liu, R. and F. Shen. 2008. Refining sweet sorghum from stalk juice of sweet sorghum by immobilised yeast fermentation. *Renewable Energy* 33:1130-1135.
- Montross, M.D., T.W. Pfeiffer, C.L. Crofcheck, S.A. Shearer, and C.R. Dillon. 2009. Feasibility of ethanol production from sweet sorghum in Kentucky. <http://www.uky.edu/Ag/NewCrops/sorghumethanol.pdf>.
- Pabendon, M.B., R. Efendi, dan Fatmawati. 2010. Perakitan varietas sorghum biji untuk pangan fungsional potensi hasil >4 t/ha dan sorgum manis untuk bahan baku bioetanol kadar gula brix 9-15%. Laporan Tahunan 2010. Balai Penelitian Tanaman Serealia. 41p.
- 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* 30(1): 60-69.
- Samsuri, M., M. Gosan, R. Mardias, M. Baiquni, H. Hermansyah, A. Wijanarko, B. Prasetya, dan M. Nasikin. 2007. Pemanfaatan selulosa bagas untuk produksi ethanol melalui sakarifikasi dan fermentasi serentak dengan enzim xylanase. *Makara, Teknologi* 11(1): 17-24.
- Shiringani, A. and W. Friedt. 2009. Genotype-environmental analysis of RIL population segregating for sugar-related traits in *Sorghum bicolor* L. Moench. Dissertation Submitted for the degree of Doctor of Agricultural Science Faculty of Agricultural Sciences, Nutritional Sciences and Environmental Management. Justus-Liebig-University Giessen, Limpopo, Republic of South Africa, 103p.
- Sipos, B., J. Reczey, Z. Somorai, Z. Kadar, D. Dienes, and K. Reczey. 2010. Sweet sorghum as feedstock for ethanol production: enzymatic hydrolysis of steam-pretreated bagasse. *Application of Biochemical Biotechnology* 8:8423-8429.
- 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.
- Tolage, J. dan J. Tande. 2009. Pembuatan etanol dari nira batang sorgum. Skripsi, Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik UKI-Paulus, Makassar. 43p.
- Vermerris, W., C. Rainbolt, D. Wright, and Y. Newman. 2007. Production of biofuel crops in Florida: sweet sorghum. Available at <http://edis.ifas.ufl.edu/AG298>; (cited 6 Oct. 2009; verified 25 Nov. 2009). Univ. Florida (Diakses 7 Juni 2011).
- Wahyuni, A. 2008. Rekayasa bioproses pembuatan bioetanol dari sirup glukosa ubi Jalar (*Ipomoea batatas* L) dengan menggunakan *Saccharomyces cerevisiae*. Tesis, Sekolah Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor. Bogor, 74p.