

## Penampilan Fenotipik dan Stabilitas Sorgum Manis untuk Bahan Baku Bioetanol

Marcia B. Pabendon<sup>1</sup>, S. Mas'ud<sup>1</sup>, Rosalia S. Sarungallo<sup>2</sup>, dan Amin Nur<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Balai Penelitian Tanaman Serealia  
Jl Dr. Ratulangi no. 274 Maros, 90514, Sulawesi Selatan  
Email: marcia.pabendon@gmail.com

<sup>2</sup>Universitas Kristen Indonesia Paulus (UKIP), Makassar  
Kampus Baru, Jl. Biringromang, km 13, Makassar.

Naskah diterima 18 Juli 2011 dan disetujui diterbitkan 13 April 2012

**ABSTRACT. Phenotypic Performance and Stability Analysis of Sweet Sorghum as Raw Material for Bioethanol.** The objective of this study was to evaluate the phenotypic performance of promising lines sweet stalk sorghum to produce high yield of ethanol different agroecological zones. Eleven genotypes and three check varieties of sweet sorghum were tested in eight different locations in four provinces in Indonesia, namely Sidrap and Bulukumba (South Sulawesi), Polman and Majene (West Sulawesi), Telaga and Biyonga (Gorontalo), and Kendalpayak and Tajiran (East Java) from July until December 2009. The combined analysis of variance showed that the effect of genotypes, locations, interaction of genotypes and locations, were significant for all traits. Based on the phenotypic performance five genotypes with high yield of ethanol were identified. Yield ethanol was high up to 4536 l/ha much higher than those of three check varieties. Genotypes Watar Hammu Putih, 4-183A, 15011A, 15011B, and 15021A yielded ethanol from the fermentation process amounted to 6616 l, 4999 l, 5927 l, 5732 l, and 6653 l/ha. The high were ethanol production from each genotype was supported by characters that were relatively different, but the most dominant was the weight of biomass stem per ha, with the coefficient of correlation of 0.92. Stability analysis identified four characters, namely brix sugar content, production of ethanol per hectare, weight of stem biomass, and grain yield per ha. The five promising genotypes with high ethanol yields, were adaptive to spesific loacations. Genotypes 5-193C had wide range of adaptation across the 8 locations, but ethanol production was lower than that check cultivar. Genotype with the highest grain yield was 1090A.

**Key words:** Phenotype characters, sweet stalk sorghum, bioethanol, grows environment.

**ABSTRAK.** Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh interaksi genetik x lingkungan terhadap penampilan fenotipik dan stabilitas genotipe sorgum manis yang mampu menghasilkan etanol tinggi dan berpotensi hasil biji tinggi. 11 genotipe harapan sorgum manis diuji pada delapan lokasi yang berbeda di empat propinsi di Indonesia, yaitu Sidrap dan Bulukumba (Sulawesi Selatan), Polman dan Majene (Sulawesi Barat), Telaga dan Biyonga (Gorontalo), dan Kendalpayak dan Tajiran (Jawa Timur) dari Juli sampai Desember 2009. Sidik ragam, gabungan menunjukkan genotipe, lokasi, interaksi genotipe, dan lokasi nyata sampai sangat nyata. Genotipe yang memperlihatkan penampilan fenotipik yang baik dalam kaitannya dengan produksi bioetanol tinggi adalah tanaman tinggi dan diameter batang besar. Genotipe yang masuk ke dalam kategori tersebut adalah 15011A, 15021A, Watar Hammu Putih, 15011B, dan 4-183A. Genotipe sorgum manis yang memiliki karakter bobot biomasa batang dengan tingkat adaptasi paling luas pada lingkungan yang bervariasi dan berkorelasi tinggi terhadap produksi bioetanol, dan stabil terhadap hasil biji adalah Watar Hammu Putih, 15011A, dan 15021A.

Bobot biomasa batang merupakan karakter yang paling tinggi nilai korelasinya terhadap produksi bioetanol, juga termasuk salah satu karakter dengan adaptasi yang luas. Genotipe yang paling prospektif untuk produksi bioetanol adalah Watar Hammu Putih, 15021A, dan 15011A.

**Kata kunci:** Karakter fenotipik, sorgum batang manis, lingkungan tumbuh, produksi bioetanol.

Sorgum (*Sorghum bicolor* L.) merupakan salah satu tanaman serealia yang mempunyai potensi besar untuk dikembangkan di Indonesia, karena memiliki adaptasi yang luas. Sorgum bukan tanaman asli Indonesia, melainkan berasal dari Ethiopia dan Sudan. Tanaman ini toleran terhadap kekeringan dan genangan air, dapat berproduksi pada lahan kering marjinal, dan relatif tahan terhadap hama penyakit. Menurut Hidayat dan Mulyani (2002), lahan kering di Indonesia meliputi lebih dari 140 juta ha, dan menurut BPS (2001) sekitar 56 juta ha lahan kering di luar Maluku dan Papua sudah digunakan untuk pertanian. Selama ini sorgum hanya dimanfaatkan untuk pakan ternak. Pada musim kering yang panjang, khususnya pada lahan tadah hujan, ketika tanaman pangan lain tidak dapat tumbuh atau berproduksi, sorgum masih mampu tumbuh baik, sehingga memiliki tempat dalam pola tanam setahun tanpa menggeser kedudukan pangan utama.

Sorgum juga dapat diolah menjadi bioetanol yang merupakan energi alternatif, menggantikan bahan bakar minyak (BBM) yang produksinya semakin menipis. Meningkatnya harga BBM mendorong bangkitnya industri etanol dalam beberapa tahun terakhir (Ariati 2006). Baik negara maju maupun negara berkembang telah membuat kebijakan untuk menggerakkan penelitian terhadap jenis tanaman yang dapat digunakan sebagai sumber energi hayati. Di Amerika Serikat terdapat 172 jenis tanaman penghasil bioetanol yang jika semuanya digabungkan dapat memproduksi > 10 milyar galon etanol (Renewable Fuels Association 2010).

Sorgum manis menghasilkan gula terlarut berkonsentrasi tinggi dalam nira batang. Kelebihan sorgum manis dibanding komoditas penghasil bioetanol lainnya adalah menggunakan pupuk relatif lebih sedikit, lebih efisien dalam penggunaan air (1/3 dari tebu dan 1/2 dari jagung), periode pertumbuhan relatif pendek, dan kemampuan adaptasinya terhadap kondisi tanah dan iklim yang bervariasi. Sorgum memiliki potensi besar untuk dibudidayakan dan dikembangkan secara komersial, karena memiliki daya adaptasi yang luas, produktivitas tinggi, input relatif sedikit, tahan terhadap hama dan penyakit tanaman, toleran kekeringan, salinitas, dan lahan masam (Suranto *et al.* 2008, McLaren *et al.* 2003). Jika hasil panen tanaman primer rendah, maka ada peluang untuk meningkatkan hasil sorgum secara kumulatif pada musim tanam berikutnya, karena adanya potensi turiang (*ratoon*) tanaman sorgum (Rooney *et al.* 2007). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa nira batang sorgum manis potensial sebagai bahan baku etanol (Gibbons *et al.* 1986, Venturi and Venturi 2003, Prasad *et al.* 2007, Rooney *et al.* 2007). Selain itu, kandungan pati pada biji dan serat lignoselulosa pada batang sorgum merupakan nilai tambah yang dapat dikonversi menjadi etanol (Yudiarto 2006).

Untuk memenuhi kebutuhan bahan baku industri bioetanol, penanaman sorgum harus dilakukan sepanjang tahun pada areal yang luas dan tidak menggunakan lahan yang sudah menjadi areal tanaman pangan. Produktivitas sorgum dalam menghasilkan bioetanol adalah 2.000-3.500 l/ha/musim atau 4.000-7.000 l/ha/tahun, sehingga untuk menghasilkan 60 juta kl etanol/tahun sebagai pengganti BBM dibutuhkan lahan seluas 15 juta ha (Sumaryono *et al.* 2006). Hasil penelitian menunjukkan bahwa setiap 3 kg biji sorgum dapat menghasilkan 1,0 l etanol.

Penampilan yang diperlihatkan oleh suatu tanaman disebut fenotipe yang merupakan hasil ekspresi dari penampilan genotipe tanaman pada suatu lingkungan tertentu dan interaksinya (Allard 1960, Falconer 1989, Brennan and Byth 1979). Besarnya pengaruh lingkungan terhadap pertumbuhan tanaman dan adanya tanggapan dari tiap genotipe terhadap perubahan lingkungan memerlukan kajian khusus mengenai interaksi genotipe x lingkungan. Kajian interaksi genotipe x lingkungan telah banyak dipaparkan, antara lain oleh Finlay-Wilkinson (1963), Eberhart-Russell (1966), Gauch (1992, dan Yan *et al.* (2000). Macam interaksi tersebut penting diketahui karena dapat menghambat kemajuan seleksi dan mengganggu pemilihan varietas unggul dalam pengujian di lapangan (Eberhart-Russell 1966) dan seringkali menyulitkan pengambilan kesimpulan secara akurat dalam percobaan varietas/genotipe dalam kisaran lingkungan yang luas (Nasrullah 1981).

Stabilitas adalah kemampuan tanaman untuk mempertahankan daya hasil terhadap perubahan kondisi lingkungan. Stabilitas bersifat dinamik, artinya selalu berubah pada kisaran tertentu pada lingkungan yang berbeda, sedangkan bersifat statis adalah kondisi di mana daya hasil suatu genotipe selalu tetap pada berbagai lingkungan.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh interaksi genetik x lingkungan terhadap penampilan dan stabilitas genotipe sorgum manis yang mampu menghasilkan etanol tinggi dan berpotensi hasil biji tinggi.

## BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan pada MT 2009 pada delapan lokasi di empat provinsi dengan kondisi lingkungan yang berbeda, yaitu Sidrap dan Bulukumba (Sulawesi Selatan), Polman dan Majene (Sulawesi Barat), Telaga dan Biyonga (Gorontalo), Kendalpayak dan Tajiran (Jawa Timur). Genotipe sorgum yang diuji terdiri atas 11 genotipe harapan sorgum manis asal ICRISAT, Patancheru, India, dan satu genotipe lokal asal Nusa Tenggara Timur. Tiga varietas lokal sorgum (Selayar Hitam, Sorgum Hitam, dan Numbu) digunakan sebagai pembandingan.

Pada setiap lokasi, percobaan menggunakan rancangan acak kelompok dengan tiga ulangan. Benih sorgum dari tiap genotipe ditanam pada petakan berukuran 3 m x 5 m dengan jarak tanam 75 cm x 25 cm (empat baris tanaman/petak), 3-4 biji per lubang. Pertanaman dipupuk N, P, dan K dengan dosis setara 300 kg urea, 200 kg SP36, dan 100 kg KCl/ha. Setengah takaran pupuk N serta seluruh pupuk P dan K diberikan secara dilarik pada 10 hari setelah tanam (HST), sisa pupuk N diberikan 30 HST. Penjarangan tanaman dilakukan 14 HST dengan menyisakan dua tanaman per rumpun. Pemeliharaan tanaman dilakukan secukupnya.

Panen dilakukan pada umur matang fisiologis, yaitu pada saat muncul lapisan hitam (*black layer*) pada pangkal biji, dengan cara memotong malai sekitar 2 cm di bawah leher malai yang berbentuk seperti cincin. Panen brangkasan (batang) dilakukan dengan cara memotong batang di atas tanah yang telah diambil malainya. Tanaman yang dipanen adalah dua baris yang berada di tengah setiap petak, untuk diamati lebih lanjut. Parameter fenotipik diamati dari 10 tanaman sampel yang diambil dari tiap genotipe, meliputi diameter batang, panjang dan lebar daun, tinggi tanaman, umur 50% berbunga, dan panjang malai. Komponen hasil yang diamati adalah bobot malai dari dua baris tengah yang dipanen, bobot basah malai dari 10 tanaman sampel/

genotipe, bobot kering biji dari dua baris tengah yang dipanen, bobot kering biji dari 10 malai tanaman sampel/genotipe, dan bobot 1.000 biji dari masing-masing perlakuan. Kadar air biji dari masing-masing genotipe diukur setelah biji selesai diproses.

Nira sorgum diperoleh dengan cara memeras 1 kg sampel batang sorgum hasil panen dari tiap genotipe menggunakan mesin pemeras batang. Kadar gula brix diukur segera setelah nira diperas menggunakan refraktometer. Rendemen etanol diukur berdasarkan perkiraan perolehan etanol dari hasil fermentasi sampel nira dengan teknik fermentasi sederhana menggunakan khamir *Saccharomyces cerevisiae*. Tahapan fermentasi meliputi ekstrasi nira, persiapan kultur khamir *S. cerevisiae* (Arsyad dan Husna 2007, Manurung 2005, Endah et al. 2007), dan fermentasi (Wahyuni 2008, Tolage dan Tande 2009). Rendemen etanol diukur menggunakan refraktometer.

Analisis data karakter fenotipik tanaman dilakukan menggunakan program IRR-Stat, sedangkan analisis stabilitas hasil dilakukan menggunakan program *Additive main effect and Multiplikatif Interaction* (AMMI). Analisis stabilitas hasil dilakukan untuk mengetahui pengaruh lingkungan, baik lingkungan spesifik maupun lingkungan gabungan terhadap hasil sorgum. Analisis data menggunakan software Cropstat 7.2 untuk menganalisis ragam gabungan dan stabilitas model AMMI. Analisis ragam gabungan disajikan pada Tabel 1.

Dari analisis ragam gabungan hasil dan komponen hasil yang memperlihatkan interaksi genotipe x lingkungan nyata dan sangat nyata pada taraf  $P \leq 0,05$  dan  $P \leq 0,01$  dilanjutkan dengan analisis stabilitas hasil dan komponen hasil menggunakan metode AMMI (Gauch 1992). Model AMMI dapat digunakan untuk menganalisis percobaan lokasi ganda. Asumsi yang mendasari pengujian ini adalah perlakuan dan lingkungan bersifat aditif, ragam yang homogen, dan galat bebas (Mattjik dan Sumertajaya 2000).

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara umum, musim dan waktu tanam merupakan faktor lingkungan penting yang mempengaruhi penampilan tanaman. Dalam kaitannya dengan pengaruh genetik, kondisi lingkungan menyebabkan instabilitas terhadap efek genetik yang berperan non-aditif. Kondisi lingkungan pada delapan lokasi pengujian adaptasi sorgum manis disajikan pada Tabel 2. Ketinggian tempat dari permukaan laut (dpl) bervariasi dari 0-420 m dpl, kondisi pH tanah sedang sampai agak basa dan curah hujan selama pertanaman di lapangan dariberkisar antara 99-1.056 mm. Curah hujan terendah

Tabel 1. Analisis ragam gabungan.

Sumber keragaman	Db	Kuadrat tengah	Kuadrat tengah harapan
Lokasi	(l-1)		
Ulang/lokasi	l(r-1)		
Gen.	(g-1)	$M_3$	$\sigma_e^2 + r(\sigma_{gl}^2 + \sigma_{gyl}^2) + ry(\sigma_g^2 + \sigma_{gy}^2)$
Lokasi x gen	(g-1)(l-1)	$M_2$	$\sigma_e^2 + r(\sigma_{gl}^2 + \sigma_{gyl}^2)$
Galat	l(r-1)(g-1)	$M_1$	$\sigma_e^2$
Total	(l-1)		

Tabel 2. Agroekologi 8 lokasi untuk uji multilokasi 11 genotip sorgum manis pada MT 2009.

Lokasi	Ketinggian (m dpl)	pH tanah	Jumlah curah hujan (mm)*	Waktu tanam sampai panen
Sidrap (Sulsel)	40	6,05	153	Juli-Nopember
Bulukumba (Sulsel)	10	6,29	266	Juli-Nopember
Polman (Sulbar)	10	6,25	99	Juli-Oktober
Majene (Sulbar)	30	<b>7,27</b>	99	Juli-Oktober
Kendalpayak (Jatim)	360	6,20	860	Juli-Nopember
Tajiran (Jatim)	420	5,32	1056	Juli-Nopember
Telaga (Gorontalo)	10	6,44	270	Agustus-Desember
Biyonga (Gorontalo)	0	6,71	270	Agustus-Desember

\*Jumlah curah hujan selama pertumbuhan tanaman sorgum; dpl = di atas permukaan laut.

terjadi di Polman dan Majene, diikuti oleh umur tanaman yang relatif lebih pendek dibandingkan dengan tanaman yang tumbuh pada lokasi dengan curah hujan yang lebih tinggi.

Sidik ragam gabungan menunjukkan bahwa genotipe, lokasi, dan interaksi genotipe x lingkungan berpengaruh sangat nyata terhadap semua karakter yang diamati (Tabel 3). Hal ini menunjukkan bahwa materi genetik yang diuji mempunyai variabilitas genetik yang tinggi. Besarnya pengaruh lokasi yang nyata sampai sangat nyata untuk semua karakter yang diamati merupakan gambaran keragaman lingkungan yang digunakan pada uji adaptasi ini. Demikian pula halnya pengaruh interaksi genotipe x lingkungan yang sangat nyata yang menunjukkan bahwa genotipe uji dan pembandingnya memberikan penampilan yang tidak konsisten pada lingkungan tumbuh yang berbeda. Interaksi genotipe x lingkungan pada pemuliaan tanaman merupakan gambaran ketidakmampuan genotipe untuk berpenampilan sama pada kondisi lingkungan yang berbeda (Soemartono et al. 1992, Azrai et al. 2004).

Tabel 3. Kuadrat tengah karakter agronomi, komponen hasil, dan hasil genotipe harapan sorgum pada delapan lokasi, MT 2009.

Karakter	Kuadrat tengah			KK (%)
	Lokasi	Genotipe	Genetik x lingkungan	
Volume nira	279185,00 **	76550,90 **	12943,30 **	7,40
Gula brix	529,57 **	53,07 **	9,92 **	9,80
Hasil biji	117,50 **	0,93 **	1,17 **	7,30
Bobot biomas batang	812,57 **	346,59 **	21,91 **	6,60
Produksi etanol	70626700,00 **	41856500,00 **	1988570,00 **	6,70
Tinggi tanaman	39586,70 **	26903,60 **	1433,47 **	6,90
Bobot Biji	961,93 *	427,76 **	42,05 **	3,80
Umur berbunga	779,03 **	311,22 **	311,22 **	1,80
Panjang malai	160,55 **	413,54 **	16,47 **	3,80
Panjang daun	764,51 **	527,13 **	144,59 **	4,00
Lebar daun	22,47 **	5,25 **	1,25 **	5,10
Diameter batang	42,07 **	31,89 **	3,85 **	7,80

\*\* = berbeda sangat nyata pada taraf uji F 1%; \* = berbeda nyata pada taraf uji F 5%; tn = tidak berbeda nyata pada taraf uji F 1% atau 5%; KK = Koefisien Keragaman.

Interaksi genotipe x lingkungan menguntungkan jika pengaruh interaksi G x L tidak merubah peringkat galur-galur di setiap lokasi penelitian, sehingga interaksi tersebut tidak akan mempersulit dalam pemilihan galur. Namun, jika pengaruh interaksi genotipe x lingkungan mengubah peringkat genotipe di setiap lokasi pengujian, akan mempersulit pemilihan genotipe yang diinginkan. Apabila ada dua atau lebih genotipe yang diuji pada dua atau lebih lingkungan, maka akan didapatkan tiga macam bentuk garis tanggapan genotipe, salah satunya terjadi interaksi genotipe x lingkungan bersifat kuantitatif, di mana kedua garis tidak sejajar dan tidak berpotongan. Interaksi kuantitatif ini merupakan interaksi genotipe x lingkungan yang tidak disertai perubahan peringkat genotipe yang diuji (Becker and Leon 1988).

Perkiraan hasil etanol, volume nira, gula brix, bobot biomas batang, diameter batang, tinggi tanaman, volume etanol, dan rendemen etanol disajikan pada Tabel 4. Perkiraan hasil etanol fermentasi berkisar antara 3.331– 6.654 l/ha, tertinggi pada genotipe 15021A dan terendah pada genotipe 15020A. Lima genotipe menghasilkan etanol lebih tinggi dan berbeda nyata dengan varietas Numbu (cek), yaitu Watar Hammu Putih, 4-183, 15011A, 15011B, dan 15021A masing-masing 6.617 l, 4910 l, 5.928 l, 5.733 l/ha, dan 6.654 l/ha. Hasil etanol dari varietas Numbu adalah 4.536 l/ha. Tingginya hasil etanol dari kelima genotipe tersebut didukung oleh karakter yang relatif berbeda. Genotipe Watar Hammu Putih didukung oleh tingginya bobot biomas batang, tinggi tanaman, dan volume etanol per kg batang. Genotipe 4-183A didukung oleh tingginya volume etanol per kg batang. Genotipe 15011A didukung oleh tingginya volume nira, bobot biomas batang, dan tinggi tanaman. Genotipe 15011B didukung oleh tingginya hasil etanol per kg batang. Genotipe 15021A didukung oleh bobot

biomas batang, diameter batang, dan tinggi tanaman. Peluang untuk meningkatkan hasil etanol per satuan luas dan waktu masih ada, dengan memanfaatkan potensi ratun sorgum, bagase (ampas batang hasil perasan nira), dan biji (pati).

Volume nira batang dari genotipe yang diuji berkisar antara 301-458 ml/kg batang sorgum manis, terendah pada genotipe 15011A dan tertinggi pada genotipe 15011A. Volume nira pada kedua genotipe tersebut berbeda nyata dengan varietas Numbu. Kadar gula brix berkisar antara 11,00-15,96%. Angka ini masih tergolong rendah dibandingkan dengan hasil penelitian di negara lain seperti India yang mencapai 18%. Dua genotipe menghasilkan kadar gula brix lebih tinggi dan berbeda nyata dengan varietas Numbu (14,79%), yaitu 15105B (15,96%) dan 15019B (15,63%). Tingkat akumulasi gula pada batang bervariasi antargenotipe (Almodares and Sepahi 1996, Almodares *et al.* 1997).

Bobot biomas batang dari genotipe sorgum manis yang diuji berkisar antara 12,60–26,87 t/ha, tertinggi pada genotipe 15021A. Tiga genotipe menghasilkan bobot batang lebih tinggi dan berbeda nyata dengan varietas Numbu (18,30 t/ha), yaitu 15021A (26,87 t/ha), 15011A (21,68 t/ha), dan Watar Hammu Putih (21,57 t/ha). Diameter batang berkisar antara 7,54–11,12 mm, terendah pada genotipe 15131B, sedangkan tertinggi pada genotipe 15021A. Genotipe yang lebih tinggi dan berbeda nyata dengan varietas Numbu (9,82 cm) adalah 15021A (11,12 mm). Tinggi tanaman berkisar antara 116,30-253,23 cm, terendah pada genotipe 15020A dan tertinggi pada genotipe 15021A. Lima genotipe yang lebih tinggi dari varietas Numbu (189,37 cm) adalah 15021A (247,24 cm), 15105B (219,38 cm), dan 15011A (218,83 cm), Watar Hammu Putih (209,40 cm), dan 5-193c (201,53 cm).

Tabel 4. Data fenotipik sorgum manis yang berkaitan dengan hasil etanol, MT 2009.

Genotipe Harapan	Karakter							
	Hasil etanol (l/ha)	Volume nira (ml/kg btg)	Gula brix (%)	Bobot biomas batang (t/ha)	Diameter batang (mm)	Tinggi tanaman (cm)	Volume etanol (ml/kg btng)	Rendemen etanol (%)
Watar Hammu Putih	6.616,78 <sup>a</sup>	392,92 <sup>tn</sup>	13,92 <sup>tn</sup>	21,57 <sup>a</sup>	9,37 <sup>tn</sup>	209,40 <sup>a</sup>	361,65	6,61
4-183A	4.999,99 <sup>a</sup>	416,67 <sup>tn</sup>	14,42 <sup>tn</sup>	17,07 <sup>tn</sup>	8,03 <sup>tn</sup>	160,16 <sup>tn</sup>	305,06	6,21
5-193C	3.857,20 <sup>tn</sup>	331,25 <sup>tn</sup>	13,83 <sup>tn</sup>	15,29 <sup>tn</sup>	8,07 <sup>tn</sup>	201,53 <sup>a</sup>	275,44	5,15
15011A	5.927,72 <sup>a</sup>	457,50 <sup>a</sup>	11,00 <sup>tn</sup>	21,68 <sup>a</sup>	9,68 <sup>tn</sup>	218,83 <sup>a</sup>	263,25	5,43
15019B	4.342,18 <sup>tn</sup>	300,00 <sup>tn</sup>	15,63 <sup>a</sup>	16,04 <sup>tn</sup>	8,40 <sup>tn</sup>	151,84 <sup>tn</sup>	284,47	5,75
15011B	5.732,63 <sup>a</sup>	345,42 <sup>tn</sup>	14,88 <sup>tn</sup>	17,69 <sup>tn</sup>	9,27 <sup>tn</sup>	189,65 <sup>tn</sup>	389,93	7,57
15131B	3.947,09 <sup>tn</sup>	311,25 <sup>tn</sup>	12,75 <sup>tn</sup>	16,23 <sup>tn</sup>	7,54 <sup>tn</sup>	187,06 <sup>tn</sup>	295,95	5,42
15020A	3.331,38 <sup>tn</sup>	381,67 <sup>tn</sup>	13,00 <sup>tn</sup>	12,60 <sup>tn</sup>	9,63 <sup>tn</sup>	116,30 <sup>tn</sup>	255,25	5,31
1090A	3.869,33 <sup>tn</sup>	352,50 <sup>tn</sup>	14,08 <sup>tn</sup>	14,92 <sup>tn</sup>	8,45 <sup>tn</sup>	166,76 <sup>tn</sup>	259,00	5,28
15105B	4.407,07 <sup>tn</sup>	339,17 <sup>tn</sup>	15,96 <sup>a</sup>	17,07 <sup>tn</sup>	8,57 <sup>tn</sup>	219,38 <sup>a</sup>	282,50	5,32
15021A	6.653,66 <sup>a</sup>	358,33 <sup>tn</sup>	14,38 <sup>tn</sup>	26,87 <sup>a</sup>	11,12 <sup>a</sup>	253,23 <sup>a</sup>	289,71	5,48
Cek:								
Selayar Hitam	3.435,09	301,67	11,96	14,53	7,51	187,66	279,75	5,09
Varietas Numbu <sup>a</sup>	4.536,28	437,50	14,79	18,30	9,82	189,37	300,64	5,55
Sorgum Hitam	3.138,73	257,50	11,58	13,38	6,74	197,04	299,09	5,12
Rata-rata	4.628,22	355,95	13,73	17,37	8,73	189,16	295,84	5,66
KK (%)	8,8	7,4	9,8	16,60	7,8	6,9		
BNT <sub>0,05</sub>	194,36	14,92	0,76	0,66	0,39	7,40		

a = berbeda nyata terhadap varietas cek Numbu, tn = tidak berbeda nyata terhadap varietas cek Numbu.

Rendemen etanol yang diperoleh dari batang sorgum manis melalui proses fermentasi sederhana menggunakan khamir *Saccharomyces cerevisiae* berkisar antara 5,09-7,57%. Empat genotipe menghasilkan rendemen etanol lebih tinggi dari varietas Numbu (5,55%), yaitu 15011B (7,57%), Watar Hammu Putih (6,61), 4-183A (6,21%), dan 15019B (5,75%). Jika dilanjutkan ke proses destilasi maka untuk menaikkan rendemen etanol sesuai dengan peruntukannya (60-100%), akan terjadi penurunan volume karena makin berkurangnya kandungan air antara 30-50%. Jika penurunan tertinggi sebesar 50%, maka perkiraan perolehan etanol hasil destilasi 1.666-3.327 l/ha. Lima genotipe memiliki etanol lebih tinggi dan berbeda nyata dengan varietas Numbu, yaitu Watar Hammu Putih, 4-183A, 15011A, 15011B, dan 15021A yang setelah didestilasi, dengan asumsi terjadi penyusutan sebesar 50%, akan diperoleh etanol berturut-turut 3.308 l, 2.500 l, 2.964 l, 2866 l, dan 3.327 l/ha.

Hasil etanol yang tinggi per satuan luas tidak hanya ditentukan oleh hasil 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. Hasil analisis koefisien korelasi menunjukkan bahwa nilai koefisien korelasi yang tinggi adalah hasil etanol per ha dengan bobot biomas, diameter batang, dan rendemen etanol nira batang

Tabel 5. Angka koefisien korelasi antara produksi etanol dengan 7 karakter fenotipik tanaman sorgum manis.

Korelasi antara variabel	Koefisien korelasi (r)
Hasil etanol dengan volume nira	0,54
Hasil etanol dengan kadar gula brix	0,22
Hasil etanol dengan bobot biomas batang per ha	0,92
Hasil etanol dengan produksi etanol per kg batang	0,26
Hasil etanol dengan tinggi tanaman	0,58
Hasil etanol dengan diameter batang	0,70
Hasil etanol dengan rendemen etanol nira batang	0,60

masing-masing 0,92, 0,70 dan 0,60 (Tabel 5). Oleh sebab itu, seleksi genotipe untuk perolehan bioetanol tinggi per satuan luas dapat dilakukan berdasarkan ketiga karakter tersebut. Fakta ini didukung oleh hasil penelitian Sungkono *et al.* (2009) yang 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.

Biji sorgum juga bisa menghasilkan bioetanol dengan mengubah pati dalam biji menjadi gula, selanjutnya diproses menjadi etanol, sehingga produksi biji juga perlu mendapat perhatian. Direktorat Jenderal Tanaman Pangan (2007) melaporkan bahwa untuk

menghasilkan 0,1 l etanol diperlukan 3 kg biji sorgum. Data penunjang lain berupa bobot 1.000 biji, umur 50% berbunga, panjang malai, panjang daun, dan diameter daun disajikan pada Tabel 6. Hasil biji yang diperoleh berkisar antara 2,30-3,07 t/ha, terendah pada genotipe 15019B dan tertinggi pada 1090A. Genotipe 1090A mempunyai hasil biji lebih tinggi dan berbeda nyata dibanding varietas Numbu (2,95 t/ha). Bobot 1.000 biji berkisar antara 27,23-38,63 g, terendah pada genotipe 15011A dan tertinggi pada 15019B. Tidak terdapat genotipe yang menghasilkan bobot 1.000 biji lebih tinggi dan berbeda nyata dengan varietas Numbu (38,48 g).

Umur berbunga 50% berkisar antara 47-59 HST. Dua genotipe memiliki umur 50% berbunga paling cepat dan berbeda nyata dengan varietas Numbu, yaitu 5-193C dan 15131B. Umur berbunga 50% perlu mendapat perhatian, karena selain untuk memprediksi umur panen pada seleksi umur genjah, juga merupakan informasi penting dalam program perbaikan varietas melalui rekombinasi, untuk mencegah ASI (*Anthesis Silking Interval*) yang terlalu jauh antara dua materi rekombinasi yang akan diperbaiki. Genotipe 15021A paling lambat berbunga 50%, namun mempunyai kelebihan lain, yaitu menghasilkan bobot biomasa batang yang paling tinggi. Genotipe ini dapat diupayakan untuk memperpendek umur melalui rekombinasi dengan genotipe yang berumur pendek. Panjang malai berkisar antara 19,49-

27,72 cm, terpendek pada genotipe 15011B, terpanjang pada genotipe 15131B. Hanya genotipe 15011B (19,49 cm) yang tidak berbeda nyata dengan varietas Numbu (19,74 cm), sedangkan 10 genotipe lainnya mempunyai malai yang lebih panjang.

Panjang daun berkisar antara 63,98-76,99 cm, terpendek pada genotipe 15019B dan terpanjang pada genotipe 15021B. Hanya genotipe 15021A yang mempunyai daun lebih panjang dan berbeda nyata dengan varietas Numbu. Lebar daun berkisar antara 5,84-7,41 cm, tidak terdapat genotipe yang memiliki diameter daun yang berbeda nyata dengan varietas Numbu (7,50 cm).

Hasil analisis stabilitas dengan menggunakan model AMMI terhadap 11 genotipe yang diuji di delapan lokasi menunjukkan empat karakter dengan penampilan fenotipik yang relatif berbeda pada lokasi yang berbeda dengan tingkat kesesuaian >50%, yaitu bobot biomasa batang, hasil biji, kadar gula brix, dan hasil etanol, sebagaimana yang ditunjukkan oleh tingkat kesesuaian berturut-turut sebesar 70,3%, 67,7%, 71,2%, dan 72,6% (Gambar 1a, 1b, 1c dan 1d). Gambar 1 menunjukkan bahwa genotipe 1 (Watar Hammu Putih) memiliki stabilitas bobot biomasa lebih tinggi dibandingkan dengan ketiga varietas cek (Selayar hitam, Numbu dan sorgum hitam) dan diikuti oleh stabilitas karakter lain seperti hasil biji, kadar gula brix dan hasil etanol. Genotipe

Tabel 6. Rata-rata hasil biji, bobot 1.000 biji, umur 50% berbunga, panjang malai, panjang daun, dan lebar daun dari 11 genotipe sorgum manis yang ditanam di delapan lokasi.

Genotipe	Karakter					
	Hasil biji (t/ha)	Bobot 1000 biji (g)	Umur 50% berbunga (hari)	Panjang malai (cm)	Panjang daun (cm)	Lebar daun (cm)
Watar Hammu Putih	2,86 <sup>tn</sup>	33,26 <sup>tn</sup>	54 <sup>tn</sup>	23,80 <sup>a</sup>	75,56 <sup>tn</sup>	7,05 <sup>tn</sup>
4-183A	2,64 <sup>tn</sup>	33,15 <sup>tn</sup>	51 <sup>tn</sup>	22,11 <sup>a</sup>	73,10 <sup>tn</sup>	7,13 <sup>tn</sup>
5-193C	2,90 <sup>tn</sup>	36,59 <sup>tn</sup>	47 <sup>a</sup>	26,16 <sup>a</sup>	65,70 <sup>tn</sup>	7,14 <sup>tn</sup>
15011A	2,61 <sup>tn</sup>	27,23 <sup>tn</sup>	54 <sup>tn</sup>	27,65 <sup>a</sup>	76,31 <sup>tn</sup>	6,95 <sup>tn</sup>
15019B	2,30 <sup>tn</sup>	38,63 <sup>tn</sup>	49 <sup>tn</sup>	22,72 <sup>a</sup>	63,98 <sup>tn</sup>	6,34 <sup>tn</sup>
15011B	2,65 <sup>tn</sup>	30,64 <sup>tn</sup>	53 <sup>tn</sup>	19,49 <sup>tn</sup>	67,01 <sup>tn</sup>	7,14 <sup>tn</sup>
15131B	2,91 <sup>tn</sup>	29,82 <sup>tn</sup>	47 <sup>a</sup>	27,72 <sup>a</sup>	64,95 <sup>tn</sup>	5,84 <sup>tn</sup>
15020A	2,90 <sup>tn</sup>	29,21 <sup>tn</sup>	51 <sup>tn</sup>	20,39 <sup>a</sup>	67,09 <sup>tn</sup>	6,76 <sup>tn</sup>
1090A	3,07 <sup>a</sup>	30,03 <sup>tn</sup>	51 <sup>tn</sup>	21,98 <sup>a</sup>	65,88 <sup>tn</sup>	6,49 <sup>tn</sup>
15105B	2,86 <sup>tn</sup>	33,15 <sup>tn</sup>	52 <sup>tn</sup>	21,10 <sup>a</sup>	66,77 <sup>tn</sup>	7,09 <sup>tn</sup>
15021A	2,67 <sup>tn</sup>	28,01 <sup>tn</sup>	59 <sup>tn</sup>	24,67 <sup>a</sup>	76,99 <sup>a</sup>	7,41 <sup>tn</sup>
Cek:						
Selayar Hitam	2,63	23,97	47	29,64	68,07	6,34
Numbu (a)	2,95	38,48	48	19,74	75,26	7,50
Sorgum Hitam	2,81	31,34	55	33,61	68,90	6,58
Rata-rata	2,77	31,68	51	24,34	69,68	6,84
KK (%)	17,3	3,8	1,8	3,8	4,0	5,1
BNT 0,05	0,11	0,69	0,54	0,52	1,59	0,20

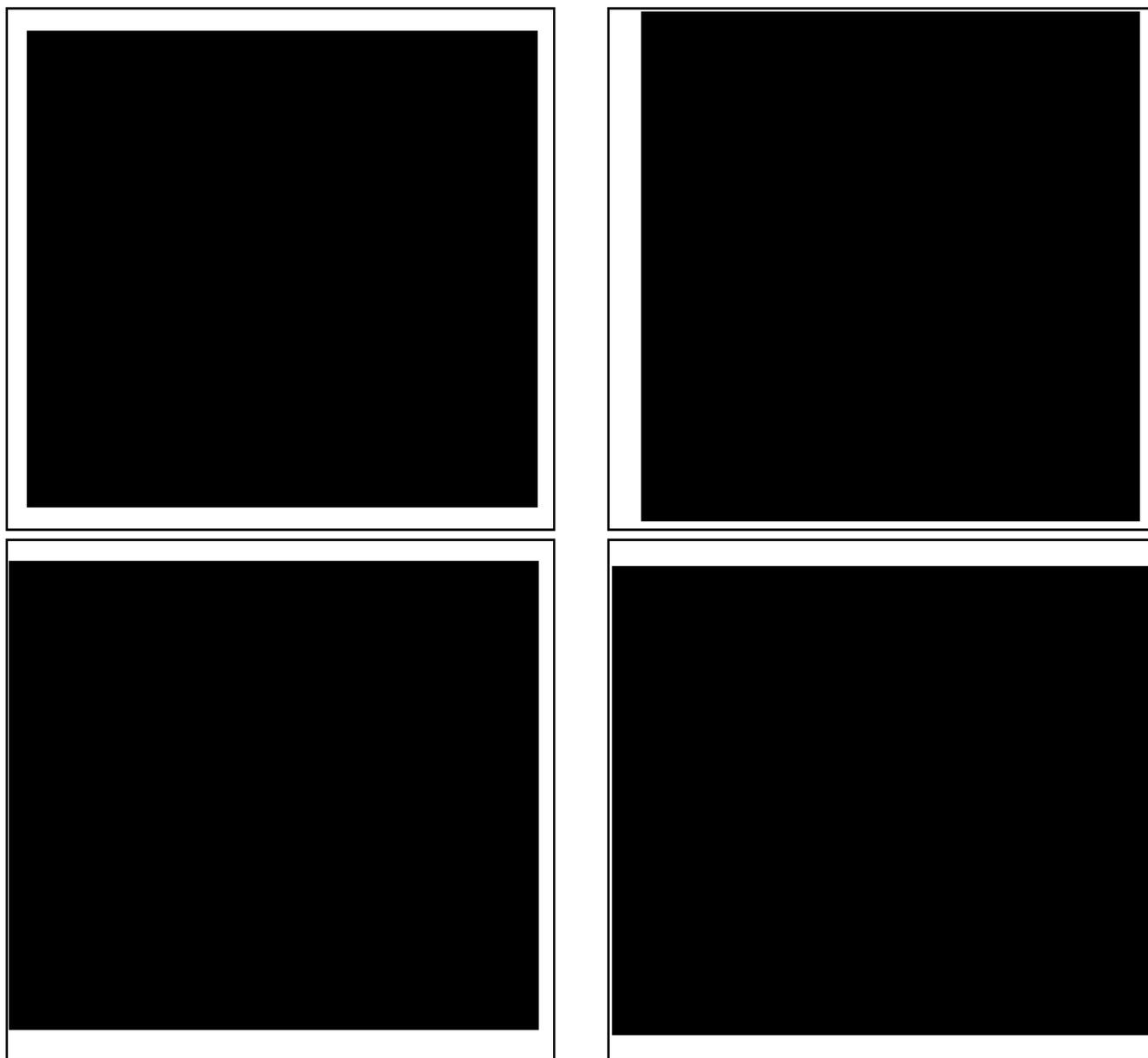
a = berbeda nyata terhadap varietas cek Numbu, tn = tidak berbeda nyata terhadap varietas cek Numbu.

lain dengan bobot biomas lebih tinggi dari cek adalah 15011A dan 15021A namun kestabilannya belum baik di semua lokasi.

Hasil analisis stabilitas terhadap hasil biji terdapat dua genotipe harapan sorgum manis yang memiliki adaptasi umum yang baik yaitu Watar Hammu Putih (2,9 t/ha) dan 15105B (2,9 t/ha). Selain itu, terdapat satu genotipe yang sifatnya spesifik lokasi yaitu 1090A (3,1 t/ha). Hasil biji seluruh genotipe yang diuji rata-rata 2,8 t/ha. Genotipe stabil adalah genotipe yang memiliki nilai koefisien regresi 1 atau mendekati 1 dengan galat baku, kuadrat tengah interaksi, dan kuadrat tengah regresi

yang kecil, sementara genotipe yang tidak stabil atau tidak spesifik lokasi memiliki nilai koefisien regresi  $> 1$  dengan nilai galat baku, kuadrat tengah interaksi, dan kuadrat tengah regresi yang besar. Kestabilan genotipe ini direpresentasikan pada Gambar 1.

Terdapat empat genotipe harapan sorgum manis yang memiliki adaptasi umum yang baik yaitu 15011B (15%), 1090A (14%), 15105B (16%), dan 15021A (14%). Dua genotipe lain memiliki sifat spesifik lokasi, yaitu 5-193C (14%) dan 15020A (13%). Kadar gula brix seluruh genotipe yang diuji rata-rata 13,37 t/ha (Tabel 7).



Gambar 1. (1A) Biplot bobot biomas dengan tingkat kesesuaian 70,3 %, (1 B) Biplot hasil.

Hasil analisis stabilitas terhadap perkiraan hasil etanol menunjukkan tiga genotipe harapan sorgum manis yang memiliki adaptasi umum baik adalah Watar Hammu Putih (6.617 l/ha), 15011A (5.928 l/ha), dan 15021A (6.654 l/ha), sedangkan dua genotipe yang sifatnya spesifik lokasi, adalah 4-183A (5.000 l/ha) dan 15011B (5.733 l/ha). Etanol hasil fermentasi seluruh genotipe yang diuji rata-rata 4.628 l/ha (Tabel 8).

Dari empat karakter dengan tingkat kesesuaian > 50% pada lingkungan yang bervariasi, bobot biomas

perlu mendapat perhatian, karena mempunyai nilai korelasi yang tinggi terhadap hasil etanol. Jika karakter-karakter tersebut dihubungkan dengan nilai korelasi dengan hasil bioetanol, maka karakter dengan nilai koefisien korelasi tertinggi adalah bobot biomas tanaman (0,92), sedangkan kadar gula brix nilainya rendah (0,22). Hasil biji, walaupun hasil etanol tidak dianalisis dalam penelitian ini namun perlu mendapat perhatian karena bermanfaat sebagai pangan, pakan, maupun bahan baku bioetanol. Genotipe yang paling

Tabel 7. Rata-rata dan stabilitas bobot biomas batang genotipe harapan sorgum manis rendemen etanol 15% berdasarkan analisis gabungan delapan lokasi, MT 2009.

Genotipe	Bobot biomas batang					Hasil biji					Kadar gula brix				
	Rata-rata	( <i>b<sub>i</sub></i> )	GL	KT GxL	KT REG	Rata-rata	( <i>b<sub>i</sub></i> )	GL	KT GxL	KT REG	Rata-rata	( <i>b<sub>i</sub></i> )	GL	KT GxL	KT REG
Watar Hammu Putih	21,57 <sup>a</sup>	0,79	0,158	3,73	5,75	2,86	0,898	0,10	0,18	0,20	13,92	1,02	0,11	0,97	0,05
4-183A	17,07	1,47*	0,078	4,99	30,01	2,64	0,953	0,13	0,27	0,04	14,42	1,08	0,15	1,69	0,56
5-193C	15,29	1,05	0,214	5,38	0,28	2,90	1,049	0,06	0,07	0,05	13,83	1,21*	0,05	0,73	3,71
15011A	21,68 <sup>a</sup>	0,57	0,421	4,16	24,82	2,61	0,963	0,18	0,56	0,03	11,00	0,87	0,34	9,05	1,58
15019B	16,04	0,77	0,210	6,10	6,97	2,30	0,923	0,15	0,40	0,12	15,62 <sup>a</sup>	1,41	0,23	5,99	14,54
15011B	17,69	1,30	0,167	5,00	12,28	2,65	0,753	0,14	0,51	1,19	14,88	0,87	0,17	2,42	1,65
15131B	16,23	1,31	0,192	6,17	13,27	2,91	1,232	0,18	0,69	1,05	12,75	1,18	0,09	1,06	2,87
15020A	12,60	0,74*	0,083	2,11	9,18	2,90	1,079	0,11	0,21	0,12	13,00	1,29*	0,11	2,00	7,19
1090A	14,92	1,46	0,202	8,86	28,83	3,07 <sup>a</sup>	1,362*	0,08	0,47	2,57	14,08	0,98	0,14	1,46	0,03
15105B	17,07	0,89	0,114	1,72	1,54	2,86	0,911	0,07	0,01	0,16	15,96 <sup>a</sup>	0,84	0,19	2,93	2,40
15021A	26,87 <sup>a</sup>	0,58	0,184	7,35	23,91	2,67	1,322*	0,10	0,47	2,04	14,38	0,65	0,17	3,79	10,67
Selayar Hitam	14,53	1,25	0,198	5,78	8,57	2,63	1,111	0,07	0,01	0,24	11,96	0,89	0,25	4,77	1,06
Numbu( <b>a</b> )	18,30	0,91	0,237	6,67	1,06	2,95	0,598*	0,12	0,67	3,17	14,79	0,93	0,13	1,33	0,41
Sorgum Hitam	13,38	0,89	0,241	6,94	1,53	2,81	0,846	0,13	0,35	0,46	11,58	0,80	0,24	4,77	3,48
Rata-rata	17,37					2,77					13,37				

*b<sub>i</sub>* = koefisien regresi, GL = Galat baku, KT GxL = Kuadrat tengah Interaksi, KT Reg = Kuadrat Tengah Regresi a = berbeda nyata terhadap varietas Numbu dengan uji BNT 5%.

Tabel 8. Rata-rata dan stabilitas produksi etanol calon varietas sorgum manis rendemen etanol 15% berdasarkan analisis gabungan delapan lokasi, MT 2009.

Genotipe	Rata-rata	<i>b<sub>i</sub></i>	SE	KT (GxL)	KT-REG
Watar Hammu Putih	6.616,78 <sup>a</sup>	0,92	0,18	337550,8	71116,33
4-183A	4.999,99 <sup>a</sup>	1,66*	0,09	798062,3	67411,00
5-193C	3.857,20	0,99	0,21	428226,2	1534,63
15011A	5.927,72 <sup>a</sup>	0,60	0,43	214233,6	928051,88
15019B	4.342,18	0,78	0,22	550914,7	583188,00
15011B	5.732,63 <sup>a</sup>	1,55*	0,20	896889,3	493900,00
15131B	3.947,09	1,20	0,18	382662,0	448178,59
15020A	3.331,38	0,74*	0,08	181506,5	818359,69
1090A	3.869,33	1,43	0,19	685212,1	136022,00
15105B	4.407,07	0,86	0,11	158707,7	216342,38
15021A	6.653,66 <sup>a</sup>	0,54*	0,18	659393,0	444550,00
Selayar Hitam	3.435,09	1,12	0,18	332286,5	156913,02
Numbu (a)	4.536,28	0,85	0,22	519036,7	269080,34
Sorgum Hitam	3.138,73	0,79	0,22	544364,8	543679,12
Rata-rata	4.628,22				

*b<sub>i</sub>* = koefisien regresi, GL = Galat baku, KT GxL = Kuadrat tengah Interaksi, KT Reg = Kuadrat Tengah Regresi a = berbeda nyata terhadap varietas Numbu dengan uji BNT 5%

Tabel 9. Empat karakter yang menunjukkan tingkat kesesuaian &gt;50% berdasarkan program AMMI.

Karakter	Tingkat kesesuaian (%)	Genotipe stabil	Genotipe spesifik lokasi
Bobot biomas batang (t/ha)	70,3	WHP, 15021A, 15011A	4-183A, 15020A
Hasil biji (t/ha)	67,7	WHP, 15105B	1090A
Gula brix (%)	71,2	15011B, 1090A, 15105B, 15021A	5-193C, 15020A
Produksi etanol (l/ha)	72,6	WHP, 15011A, 15021A	4-183A, 15011B

WHP = Watar Hammu Putih.

menonjol stabil adalah Watar Hammu Putih, 15021A, dan 15011<sup>a</sup>, sedangkan genotipe yang menonjol dari segi spesifik lokasi adalah 4-183A dan 15020<sup>a</sup> (Tabel 9).

### KESIMPULAN

1. Karakter fenotipik tanaman sorgum yang baik dalam kaitannya dengan hasil bioetanol tinggi adalah tanaman tinggi dan diameter batang besar. Genotipe sorgum manis yang memiliki kategori ini adalah 15011A, 15021A, Watar Hammu Putih, 15011B, dan 4-183A.
2. Genotipe sorgum manis yang memiliki bobot biomas batang dengan tingkat adaptasi paling tinggi pada lingkungan yang bervariasi dan berkorelasi tinggi dengan hasil bioethanol dan memiliki hasil biji stabil adalah Watar Hammu Putih, 15011A, dan 15021A.
3. Bobot biomas batang merupakan karakter yang paling tinggi nilai korelasinya terhadap hasil bioethanol dan termasuk salah satu karakter yang memiliki adaptasi luas. Genotipe yang paling prospektif untuk bioetanol adalah Watar Hammu Putih, 15021A, dan 15011A.

### Saran

Genotipe sorgum manis Watar Hammu Putih, 15021A, dan 15011A, perlu dikembangkan menjadi varietas untuk sumber bahan baku bioetanol. Genotipe yang bersifat spesifik lokasi perlu ditelaah lebih lanjut di daerah-daerah yang betul-betul spesifik untuk pengembangan genotipe tersebut sesuai dengan karakter yang dituju, di antaranya genotipe 4-183A, 15020A, 15011B, 1090A, dan 5-193C.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Ir. Sumarni Singgih, MS. yang telah banyak membantu selama pelaksanaan uji multilokasi sorgum manis, memberikan arahan, dan berbagi pengalaman dalam menangani penelitian di bidang pemuliaan dan budi daya sorgum manis.

### DAFTAR PUSTAKA

- Allard, R.W. 1960. Principle of plant breeding. John Wiley & Sons. Inc. New York. 485 p.
- Almodares, A. and A. Sepahi. 1996. Comparison among sweet sorghum cultivars, lines and hybrids for sugar production. *Annu. Plant Physiol.* 10:50-55.
- Ariati, R. 2006. Kebijakan pengembangan bioenergi. Makalah disampaikan pada Seminar Bioenergi: Prospek bisnis dan peluang investasi. Jakarta, 6 Desember 2006. Direktorat Energi Terbarukan dan Konservasi Energi, Departemen Energi dan Sumberdaya Mineral, Jakarta.
- Arsyad dan S. Husna. 2007. Produksi bioetanol dari batang sorgum secara fermentasi dengan menggunakan *Saccharomyces cerevisiae*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Kimia, Institut Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar. 34 p.
- Azrai, M., F. Kasim, M.B. Pabendon, J. Wargiono, J.R. Hidayat, dan Komaruddin. 2004. Penampilan beberapa genotip jagung protein mutu tinggi (QPM) pada lahan kering dan lahan sawah. *Penelitian Pertanian* 23(3):123-131.
- Becker, R.J. and J. Leon. 1988. Stability Analysis in plant breeding. *Plant Breeding* 101:1-23.
- Brennan, P.S. and D.E. Byth. 1979. Genotype x environment interaction for wheat yields and selection for widely adapted wheat genotypes. *Aust. J.Agric. Res.* 30:221-232.
- Direktorat Jenderal Tanaman Pangan. 2007. Arah kebijakan pengembangan sorgum manis sebagai sumber baku bioetanol, Workshop Peluang dan Tantangan Sorgum Manis sebagai Bahan Baku Bioetanol, Jakarta.
- Eberhart, S. A. and W. A. Russel. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6:36-40.
- Endah, R.D., D. Sperisa, A. Nur, dan Paryanto. 2007. Pengaruh kondisi fermentasi terhadap yield etanol pada pembuatan bioetanol dari pati garut. *Gema Teknik, Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret.* <https://docs.google.com/viewer> (akses 8 April 2009) No. 2: 83-88.
- Falconer, D.S. 1989. Introduction to quantitative genetics. John Wiley and Sons. Inc. New York. 438p.
- Finlay, K.W. and G.N. Wilkinson. 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding program. *Aust. J. Agric. Res.* 13:742-754.
- Finlay, K.W., K.S. Fisher, E.C. Johnson, and G.O. Edmeades. 1981. Breeding and selection for drought resistance in tropical maize, CIMMYT Asian Regional Maize Program, Paper at Symposium on Principles and Methods in Crop Improvement for Drought Resistance, IRRI May 4-8, PO Box 2453, Bangkok.d G.N. Wilkinson. 1963. The analysis of adaptation in plant breeding program. *Aust. J. Agric. Res.* 13:742-754.
- Gauch, H.G. Jr. 1992. Statistical analysis of regional yield trials: AMMI Analysis of Factorial Designs. Elsevier Science Pub. Amsterdam, Netherlands.

- Gibbons, W., C. Westby, and T. Dobbs. 1986. Intermediate-scale, smicontinuous solid-phase fermentation process for production of fuel ethanol from sweet sorghum. *Appl. and Environ. Microbiol.* 51(1):115-122.
- Kumar, A.A., B.V.S. Reddy, Ch. R. Reddy, M. Blümmel, P.S. Rao, B. Ramaiah, and P.S. Reddy. 2010. Enhancing the harvest window for supply chain management of sweet sorghum for ethanol production. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT), Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India.
- Manurung, R. 2005. Pembuatan anggur pepaya dengan proses fermentasi. *J. Sistem Teknik Industri* 6(2). Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik USU-Medan.
- Mattjik, A.A. dan M. Sumertajaya. 2000. Perancangan percobaan dengan aplikasi SAS dan MINITAB. IPB Press. Jilid I 326 hlm.
- Mcintosh, M.S. 1983. Analysis of Combined Experiments. *Agron. Journal* 75:153-155.
- McLaren, J.S., N. Lakey, and J. Osborne. 2003. Sorghum as a bioresources platform for future renewable resources, Proc. 57<sup>th</sup> Corn and Sorghum Research Conference, CD ROM. American Seed Trade Association, Alexandria, VA, USA.
- Narita, J., K. Okano, T. Tatenno, T. Tanino, T. Sewaki, M.H. Sung, H. Fukuda, A. Kondo. 2005. Display of active enzymes on the cell surface of *Escherichia coli* using PgsA anchor protein and their application to bioconversion. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 20:1-9.
- Nasrullah, 1981. A modified procedure for identifying varietal stability. *Agric. Sci.* 3(4):153-159.
- Prasad, S., A. Singh, N. Jain, and H. Hoshi. 2007. Ethanol production from sweet sorghum syrup for utilization as automotive fuel in India. *Energy and Fuels* 21:2415-2420.
- Puspita Sari, R.P. 2009. <http://www.clicktoconvert.com>. Pembuatan etanol dari nira sorgum dengan proses fermentasi. Seminar Tugas Akhir S1, Jurusan Teknik Kimia, UNDIP, Semarang. 5 p.
- Renewable Fuels Association. 2010. Ethanol Industry Outlook: Cimate of opportunity. [http://www.ethanolrfa.org/industry/outlook/RFAoutlook2010\\_fin.pdf](http://www.ethanolrfa.org/industry/outlook/RFAoutlook2010_fin.pdf).
- Rooney, W., J. Blumenthal, B. Bean, and J. Mullet. 2007. Designing sorghum as a dedicated bioenergy feedstock. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 1:147-157.
- Soemartono, Nasrullah, dan H. Hartiko. 1992. Genetik kuantitatif dan bioteknologi tanaman. PAU- Bioteknologi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Soeranto, S. 2008. Prospek dan potensi sorgum sebagai bahan baku bioetanol. Makalah disajikan dalam Pelatihan Bioetanol Berbasis Sorgum oleh BSL Energi kerjasama dengan PATIR-BATAN dan PT. Blue Indonesia, Jakarta. 22-23 November 2008.
- 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.
- Sungkono, Trikoesoemanigntyas, D. Wirnas, D. Sopandie, S. Human dan M.A. Yudiarto. 2009. Pendugaan parameter genetik dan seleksi galur mutan Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) di tanah masam. *J. Agron. Indonesia* 37(3):220-225.
- Tolage, J. dan J. Tande. 2009. Pembuatan etanol dari nira batang sorgum. Skripsi, Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, UKI-Paulus, Makassar. 43p.
- 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. 74p.
- Venturi, P., and G. Venturi. September 2003. Analysis of Energy Comparison for Crops in European agricultural systems. *Biomass and Bioenergy* 25(3):235-55.
- Yan, W., L.A. Hunt, Q. Sheng, and Z. Szlavnies. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on GGE biplot. *Crop. Sci.* 40:597-605.
- Yudiarto, M.A. 2006. Pemanfaatan sorgum sebagai bahan baku bioetanol. Balai Besar Teknologi Pati (B2TP), Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), Lampung.