

Identifikasi Varietas/Klon Ubikayu Unggul untuk Bahan Baku Bioetanol

Erliana Ginting¹, Titik Sundari¹, Bambang Triwiyono², dan Triatmodjo²

¹Balai Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian

Jl. Raya Kendalpayak, km 7 Malang, Jawa Timur

²Balai Besar Teknologi Pati - BPPT

Jl. ZA Pagar Alam No. 36 Gedong Meneng, Bandar Lampung

ABSTRACT. Identification of Improved Cassava Varieties/ Clones for Bioethanol Production Purposes. Cassava is a potential source of raw material for bioethanol production. The study was conducted to identify the suitability of the chemical properties of cassava varieties/clones harvested in different seasons to be used as raw material for bioethanol. The trials were conducted at the Experiment Station and the Laboratory of Microbiology, Center for Starch Technology (BBTP), Research and Assessment of Technology (BPPT) Lampung and at the Laboratory of Food Chemistry, Research Institute for Legumes and Tuber, Malang. In 2006, 12 cassava varieties and clones were used, whereas in 2007 eight clones selected from the 12 varieties were used. The crops were harvested at age of 9 months and the tubers were used as raw material for bioethanol production. The experiment was arranged in a randomized complete block design with three replications. The variables observed were chemical composition of fresh tubers and ethanol content of bioethanol produced. Cassava tubers harvested in the rainy season (RS) 2007 contained 1 to 10% more moisture from those harvested in the dry season (DS) 2006, followed by a decrease of starch and total sugar content by 1.4 to 6.6% and 0.5-10%, respectively. Clone CMMM 99008-3 had the highest total sugar content when harvested in the DS 2006 (45.3%), but it was lower (37.0%) in the DS 2006 harvest. In the DS 2006 harvest, four varieties/clones had conversion values 4.2 to 4.5 kg of fresh tuber to one liter of 96% bioethanol, i.e., CMM 99008-3, MLG 0311, OMM 9908-4, and UJ-5. In the WS 2007 harvest, four varieties/clones showed conversion values from 4.5 to 5 kg to one liter of 96% bioethanol, i.e., CMM 99008-3, UJ-3, UJ-5, and OMM 9908-4. Five cassava clones harvested in the RS 2007, namely CMM 99008-3, UJ-3, UJ-5, MLG 0311, and OMM 9908-4 produced tubers yield ranging from 29.3 to 38.2 t/ha. Clone UJ-5 produced the highest bioethanol (7,866 l/ha).

Key words: Cassava, superior clones, bioethanol

ABSTRAK. Ubikayu merupakan bahan baku potensial untuk produksi bioetanol. Penelitian dilakukan untuk mengidentifikasi kesesuaian sifat kimia varietas dan klon ubikayu yang dipanen pada musim berbeda sebagai bahan baku bioetanol. Percobaan dilakukan di Kebun Percobaan dan Laboratorium Mikrobiologi, Balai Besar Teknologi Pati (BBTP), Badan Penelitian dan Pengkajian Teknologi (BPPT) Sulusuban, Lampung Tengah serta di Laboratorium Kimia Pangan, Balai Penelitian Kacang-kacangan dan Umbi-umbian (Balitkabi), Malang. Pada percobaan tahun 2006 digunakan 12 varietas dan klon ubikayu, sedangkan pada tahun 2007 ditanam 8 varietas dan klon yang dipilih dari 12 varietas dan klon yang ditanam pada tahun 2006. Tanaman dipanen pada umur 9 bulan dan umbinya digunakan sebagai bahan baku bioetanol. Pembuatan bioetanol, meliputi pamarutan umbi, likuifikasi, dan sakarifikasi, inokulasi khamir (*yeast*), dan fermentasi. Percobaan disusun dalam rancangan acak lengkap dengan tiga ulangan. Pengamatan meliputi komposisi kimia umbi segar dan kadar etanol dari bioetanol yang dihasilkan. Peningkatan kadar air 1-10% terjadi pada ubikayu yang dipanen pada musim hujan (MH) 2007

dibanding musim kemarau (MK) 2006, diikuti dengan penurunan kadar pati dan gula total masing-masing 1,4-6,6% dan 0,5-10%. Klon CMMM 99008-3 memiliki kadar gula total paling tinggi pada MK (45,3%), namun turun menjadi 37,0% pada panen MH. Pada panen MK 2006 diperoleh empat varietas/klon yang memiliki nilai konversi 4,2-4,5 kg umbi segar/ l bioetanol 96%, yakni CMM 99008-3, MLG 0311, OMM 9908-4, dan UJ-5. Pada panen MH 2007, empat varietas/klon memiliki angka konversi 4,5-5 kg/l bioetanol 96%, yakni CMM 99008-3, UJ-3, UJ-5, dan OMM 9908-4. Angka konversi tersebut masih di bawah nilai konversi ubi kayu yang selama ini digunakan untuk bioetanol (6,1 kg umbi segar/l bioetanol 96%). Lima klon ubikayu (CMM 99008-3, UJ-3, UJ-5, MLG 0311, OMM 9908-4) saat dipanen pada musim hujan (2007) menghasilkan umbi 29,3-38,2 t/ha. Klon UJ-5 menghasilkan bioetanol tertinggi (7.866 l/ha).

Kata kunci: Ubikayu, klon unggul, bioetanol

Penggunaan sumber energi alternatif yang berasal dari hasil pertanian, seperti biodiesel dan bioetanol, akhir-akhir ini menjadi isu penting di Indonesia. Kenaikan harga BBM di pasar dunia sejak 2005, khususnya pada 2007 yang sempat menembus \$100 US per barrel, merupakan salah satu pemicunya. Meskipun sempat turun menjadi \$35 US per barrel pada tahun 2009, harga BBM saat ini mendekati \$100 US per barrel dan diprediksi akan naik seiring dengan perkembangan ekonomi global. Di sisi lain, produksi minyak mentah dalam negeri terus turun rata-rata 5% selama satu dekade terakhir dan diperkirakan cadangan BBM asal fosil hanya cukup sampai tahun 2018 (Kompas 2006). Oleh karena itu, perlu digali dan dikembangkan energi alternatif terbarukan, agar tidak bergantung pada cadangan fosil.

Bioetanol merupakan salah satu energi alternatif yang dapat dihasilkan dari tanaman berpati, seperti biji-bijian, terutama jagung, sorgum, dan umbi-umbian (ubikayu, ubijalar), tanaman yang menghasilkan gula seperti tebu, beet, sorgum manis, dan biomas yang mengandung serat seperti serbuk gergaji, rerumputan, bagas, dan jerami (Balat *et al.* 2008). Untuk bahan bakar, bioetanol dapat digunakan sebagai campuran (5-10%) premium tanpa perlu modifikasi mesin kendaraan. Dengan nilai oktan (117) yang lebih tinggi dibanding premium (87-88) (Pranowo 2007), bioetanol menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna dengan tingkat emisi gas buang (CO₂) 40-80% lebih rendah, sehingga lebih ramah lingkungan.

Brazil merupakan negara yang telah memanfaatkan bioetanol dari bahan baku tebu sebagai bahan bakar sejak 1975 (Classen *et al.* 1999, Futura 2003). Penggunaan bioetanol dengan bahan baku jagung juga telah dikembangkan di Amerika Serikat dan negara-negara Eropa seperti Perancis, Swedia, dan Spanyol (Futura 2003). Di Indonesia, kebijakan pengembangan bioetanol sebagai bahan bakar nabati dituangkan dalam PP No.5/2006. Untuk substitusi 10% premium dari bioetanol (Gasohol E-10), 8% di antaranya berasal dari ubikayu, sedang sisanya masing-masing 1% dari tetes dan sorgum (Ditjen Perkebunan 2005 dalam Ginting *et al.* 2009).

Ubikayu, baik dalam bentuk segar, *chips* maupun pati, potensial sebagai bahan baku bioetanol. Proses pembentukan bioetanol meliputi gelatinisasi pati, hidrolisis pati secara enzimatis menjadi glukosa (likuifikasi dan sakarifikasi), selanjutnya difermentasi menjadi etanol dengan bantuan *yeast* (khamir) (Prihandana dan Hendroko 2007). Rendemen bioetanol dipengaruhi oleh jenis ubikayu yang digunakan, terutama kadar pati dan kemudahannya untuk dihidrolisis oleh enzim dan difermentasi oleh *yeast*. Konsentrasi enzim dan *yeast* yang digunakan serta kondisi (suhu dan waktu) masing-masing tahapan likuifikasi, sakarifikasi, dan fermentasi turut menentukan konsentrasi etanol yang dihasilkan.

Saat ini terdapat beragam varietas ubikayu yang dibudidayakan petani dan industri dengan potensi hasil serta karakteristik fisik dan kimia yang juga beragam. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi beberapa varietas/klon ubikayu yang potensial sebagai bahan baku bioetanol. Penelitian dilakukan selama dua tahun berturut-turut pada waktu panen yang berbeda (musim kemarau dan musim hujan) karena musim diduga akan berpengaruh terhadap komposisi kimia umbi, terutama pati dan jumlah bioetanol yang dihasilkan.

BAHAN DAN METODE

Percobaan dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi Balai Besar Teknologi Pati (BBTP) BPPT Lampung dan Laboratorium Kimia Pangan Balai Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian (Balitkabi), Malang pada bulan September-Nopember 2006 dan Oktober-Desember 2007. Bahan percobaan untuk tahun 2006 berupa umbi segar dari 12 genotipe ubikayu yang terdiri atas varietas unggul, varietas lokal, dan klon harapan yang ditanam pada musim hujan (Desember 2005) di Kebun Percobaan BBTP Sulusuban, Lampung Tengah. Sementara untuk bahan percobaan tahun 2007 dipilih delapan varietas/klon ubikayu dari 12 genotipe yang digunakan pada tahun 2006, ditanam pada musim hujan (Januari 2007) di lokasi yang sama. Tanaman dari dua

percobaan tersebut dipanen pada umur 9 bulan. Untuk sampel analisis kimia dan bahan baku bioetanol digunakan umbi dari dua tanaman masing-masing varietas/klon yang diambil secara acak.

Varietas/klon yang diuji memiliki potensi hasil dan kadar bahan kering (pati) tinggi, termasuk klon harapan yang siap dilepas menjadi varietas. Beberapa di antaranya diharapkan memiliki nilai konversi umbi segar menjadi bioetanol lebih kecil daripada angka yang selama ini umum digunakan, yakni 6,1 kg umbi segar kupas untuk 1 liter bioetanol 96% atau 6,5 kg umbi untuk 1 liter bioetanol 99,5% (*fuel grade*) (Supriyanto 2006).

Analisis kimia umbi segar meliputi (1) kadar air (metode oven), (2) kadar bahan kering (diambil bagian tengah umbi, dipotong-potong kecil, dikeringkan dalam oven suhu 60°C selama 24 jam dan ditimbang), (3) kadar pati dengan hidrolisis asam (Apriyantono *et al.* 1989 dalam Ginting dan Noerwijayati 2008), (4) kadar gula total/*Total Sugar* (TS) dengan metode Nelson-Somogy yang dimodifikasi (JICA 1983), dan (5) amilosa dengan metode Juliano (1971) dalam Ginting dan Noerwijayati (2008). Masing-masing varietas/klon ubikayu dianalisis tiga ulangan.

Untuk pengolahan bioetanol, 3-4 umbi segar diproses mengikuti metode yang telah dikembangkan oleh BBTP Lampung untuk skala laboratorium (JICA 1983), yakni membuang bagian ujung dan pangkal umbi, dikupas, diparut, lalu ditimbang berdasarkan kadar gula total umbi untuk mendapatkan bahan/media dengan kadar gula total 15% berat/volume (b/v) dalam 1,5 l air, kemudian pH-nya diatur menjadi 6,5 dengan NaOH 10%.

Tahap berikutnya adalah likuifikasi, yakni pemberian enzim α -amilase (0,1% berat/berat gula total) dan dipanaskan pada suhu 90°C selama 30 menit, diteruskan dengan sakarifikasi, yakni pemberian enzim glukamilase (0,2% berat/berat gula total) pada suhu 55°C dan diaduk secara mekanis selama 2 jam. Selanjutnya ditambahkan nutrien, berupa pupuk urea, $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ dan NPK masing-masing 0,66 g; 0,13 g dan 0,11 g per liter media serta inokulasi *yeast S. cerevisiae* Haken (5% total volume media dengan jumlah sel $10 \times 10^7/\text{ml}$) pada suhu 32°C dan diaduk selama 2 jam. Bahan tersebut kemudian dituang ke dalam *erlenmeyer* 500 ml steril dan ditutup dengan kapas steril, lalu difermentasi pada suhu kamar selama 70 jam.

Larutan hasil fermentasi selanjutnya diambil 200 ml untuk didestilasi sekitar 30 menit (sampai volume destilat mencapai 150 ml). Percobaan pembuatan bioetanol pada 2006 dan 2007 masing-masing disusun dengan rancangan acak lengkap dengan tiga ulangan. Pengamatan, meliputi volume dan kadar gula total media di awal dan akhir fermentasi, serta kadar etanol hasil destilasi dengan alkohol meter.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi Kimia Umbi Segar

Hasil penelitian pada 2006 menunjukkan kadar air umbi segar umbi berbeda nyata antarvarietas/klon ubikayu dengan nilai tertinggi 67,4% pada klon CMM 99023-12 dan terendah 49,0% pada klon CMM 99008-3 (Tabel 1). Hal yang sama juga terjadi pada kadar air delapan varietas/klon ubikayu percobaan 2007 (Tabel 2). Nilai

tertinggi diperoleh pada varietas Adira-4 dan klon CMM 99023-4 (64,5-64,5%) dan terendah pada varietas UJ-5 (54,8%). Perbedaan kadar air umbi disebabkan oleh perbedaan genotipe dan musim. Kadar air umbi varietas/klon yang dipanen pada musim kemarau (2006) relatif lebih rendah dibandingkan dengan kadar air umbi yang dipanen pada musim hujan (2007) untuk varietas/klon yang sama. Data curah hujan masing-masing percobaan pada 2006 dan 2007 disajikan pada Gambar 1 dan 2.

Tabel 1. Komposisi kimia 12 varietas/klon ubikayu. Sulusuban, Lampung Tengah, 2006.

Varietas/klon ^a	Kadar air (%)	Kadar bahan kering umbi (%)	Kadar pati (% bb)	Kadar gula total (% bb)	Kadar amilosa (% bk)
Gebang	56,2 ef	41,5 de	28,8 bc	38,4 def	28,3 c
Adira-4	58,9 cd	39,5 ef	26,4 de	40,9 bcd	25,8 fg
Iding	60,2 bc	38,5 f	24,0 f	32,0 h	26,5 ef
CMM 99023-12	67,4 a	30,5 h	20,6 g	31,9 h	24,7 h
CMM 9906-12	61,2 bc	35,5 g	25,0 ef	33,7 gh	25,6 g
OMM 9908-4	54,2 f	43,4 cd	29,5 b	42,4 b	27,0 de
CMM 99023-4	62,0 b	38,9 f	24,5 f	36,6 ef	27,1 de
CMM 99008-3	49,0 g	49,4 a	33,5 a	45,3 a	30,0 b
Malang-6	55,9 ef	43,1 d	28,4 bc	39,1 cde	26,6 de
MLG 0311	53,8 f	45,5 bc	29,9 b	41,3 bc	27,2 d
UJ-3	57,4 de	41,3 de	27,2 cd	36,2 fg	25,7 g
UJ-5	54,0 f	46,3 b	29,6 b	43,5 ab	31,1 a
Rerata	57,5	41,1	27,3	38,4	27,1
Standar Deviasi	4,8	5,1	3,4	4,4	1,8
KK (%)	2,1	2,5	3	3,2	1,2
BNT 5%	2,7	2,3	1,8	2,8	0,7

Angka selanjur yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf 0,05 BNT.

^a dipanen pada umur 9 bulan (Desember 2005-September 2006)

bb = bobot basah; bk = bobot kering

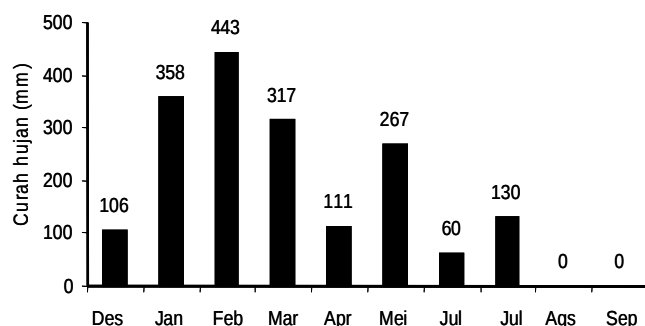
Tabel 2. Komposisi kimia 8 varietas/klon ubikayu. Sulusuban, Lampung Tengah, 2007.

Varietas/klon ^a	Kadar air (%)	Kadar bahan kering umbi (%)	Kadar pati (% bb)	Kadar gula total (% bb)	Kadar amilosa (% bk)
UJ 3	58,8 d	40,8 b	25,7 c	36,7 b	21,3 bc
UJ 5	54,8 e	43,9 a	27,5 a	39,1 a	22,4 a
Adira-4	64,5 a	37,7 c	22,6 f	31,0 d	18,8 e
Malang-6	60,3 c	40,4 b	23,5 e	34,1 c	20,8 c
MLG 0311	59,7 c	40,7 b	24,3 d	33,3 c	21,0 c
CMM 99023-4	64,5 a	37,6 c	21,9 g	30,3 d	20,1 d
CMM 99008-3	58,4 d	40,2 b	26,9 b	37,0 b	21,7 b
OMM 9908-4	61,7 b	40,1 b	24,5 d	34,1 c	19,8 d
Rerata	60,3	40,2	20,6	34,4	20,7
Standar Deviasi	3,2	2	1,7	3	1,1
KK (%)	0,8	1,5	1,08	1,51	1,46
BNT 5 %	0,8	1,1	0,46	0,91	0,53

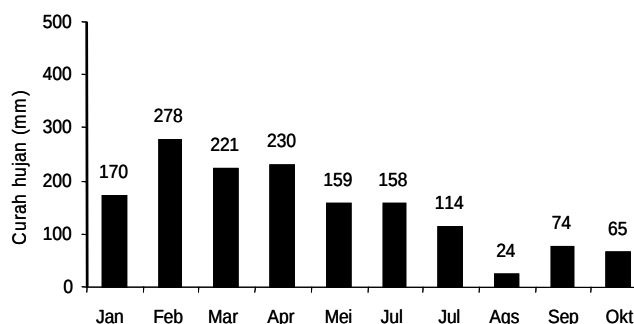
Angka selanjur yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf 0,05 BNT.

^a dipanen pada umur 9 bulan (Januari-Oktober 2007)

bb = bobot basah; bk = bobot kering



Gambar 1. Curah hujan selama pertanaman ubikayu di Sulusuban, Lampung Tengah, Desember 2005-September 2006.



Gambar 2. Curah hujan selama pertanaman ubikayu di Sulusuban, Lampung Tengah, Januari-Oktober 2007.

Untuk beberapa varietas/klon, pengaruh faktor genetik lebih dominan. Klon CMM 99023-12 cenderung memiliki kadar air tinggi meskipun dipanen pada musim kemarau, sehingga tidak digunakan lagi pada tahun 2007. Sebaliknya, klon CMM 99008-3 yang paling rendah kadar air umbinya saat dipanen musim kemarau (2006), ternyata meningkat kadar airnya sebesar 9,5% pada saat dipanen pada musim hujan (2007), sementara kadar air varietas UJ-5 hanya meningkat 0,9% (Tabel 1 dan 2). Faktor yang menyebabkan perbedaan kemampuan umbi masing-masing varietas/klon dalam menyerap dan menyimpan air menarik untuk dikaji lebih lanjut, terutama dari aspek pemuliaan. Seperti diketahui, umbi dengan kadar air rendah, memiliki kadar bahan kering/pati tinggi, sehingga lebih disukai pengguna/industri. Kadar air umbi dari percobaan 2006 dan 2007 relatif rendah dibanding kadar air 15 klon ubikayu koleksi plasma nutfah dengan nilai 62,0-74,9% (Ginting dan Noerwijati 2008). Perbedaan tersebut juga dapat disebabkan oleh perbedaan lokasi/lingkungan tumbuh tanaman dan musim.

Perbedaan nyata antarvarietas/klon ubikayu juga tampak pada kadar bahan kering umbi, baik pada percobaan 2006 maupun 2007. Varietas/klon ubikayu yang kadar air umbinya rendah menunjukkan kadar bahan kering umbi tinggi. Hubungan linier negatif tersebut disajikan pada Gambar 3 masing-masing dengan nilai R^2 0,95* untuk percobaan 2006 dan R^2 0,92* untuk percobaan 2007. Di antara 12 varietas/klon yang diamati (Tabel 1), tujuh diantaranya memiliki kadar bahan kering di atas >40% (Antarlina dan Harnowo 1992 dalam Ginting dan Noerwijati 2008), sehingga sesuai untuk bahan baku tepung, pati, dan bioetanol. Untuk percobaan 2007, meskipun terjadi penurunan kadar bahan kering dibanding tahun 2006, namun enam varietas/klon diantaranya masih memiliki kadar bahan kering >40%. Kadar bahan kering dapat digunakan sebagai penduga kadar pati ubikayu karena komponen

utama (70-90%) bahan kering adalah pati (Benesi *et al.* 2004). Selain kadar pati, kadar bahan kering umbi juga dipengaruhi oleh kadar serat yang ternyata meningkat dengan meningkatnya umur panen (Moorthy 2002).

Kadar pati umbi pada percobaan 2006 berbeda nyata antarvarietas/klon ubikayu dengan nilai tertinggi 33,5% pada klon CMM 99008-3 dan terendah 20,6% pada klon CMM 99023-12. Pada percobaan 2007, kadar pati tertinggi tampak pada varietas UJ-5 (27,5%) dan terendah pada klon CMM 99023-4 (21,9%). Selain varietas/klon, kadar pati juga dipengaruhi oleh umur panen dan kadar air umbi. Umbi yang dipanen pada umur optimal memiliki kadar pati maksimal. Umur panen 9-10 bulan umumnya optimal untuk ubikayu, kecuali yang berumur genjah (<8 bulan). Namun bila dipanen pada musim hujan, kadar patinya menjadi lebih rendah karena kadar air relatif tinggi, seperti pada percobaan 2007 yang kadar patinya lebih rendah dibanding 2006 untuk varietas/klon yang sama.

Ubikayu dengan kadar pati tinggi (>25% bb) dianggap sesuai untuk bahan baku pati, tepung, dan bioetanol. Dari 12 varietas/klon yang diamati pada tahun 2006, delapan di antaranya menunjukkan kadar pati >25%, bahkan satu klon (CMM 99008-3) >30%. Angka ini relatif tinggi dibanding kadar pati 15 klon ubikayu koleksi plasma nutfah dengan kadar pati tertinggi 22,1% (Ginting dan Noerwijati 2008). Varietas/klon ubikayu yang digunakan pada penelitian ini memiliki kadar bahan kering/pati tinggi. Varietas ubikayu yang dilaporkan potensial untuk bahan baku bioetanol, antara lain adalah M4 di India, Rayong 9 di Thailand, Rajah 2 dan Sultan 8 di Filipina masing-masing dengan kadar pati 28%; 30,8%; 29,6%, dan 30,6% (Johnson *et al.* 2009, Howeler 2009, Bureau of Agricultural Reserve 2009).

Pada panen musim hujan (2007), semua varietas/klon ubikayu mengalami penurunan kadar pati 1,4-6,6% (Tabel 2), termasuk klon CMM 99008-3 dengan tingkat

penurunan tertinggi. Fenomena yang sama juga dilaporkan oleh Atthasampunna *et al.* (1987) pada 46 klon dengan perbedaan kadar pati sekitar 5,1% antara panen pada musim kemarau dan musim hujan. Varietas Rayong 1 di Thailand memiliki kadar pati 23,5-25% saat dipanen pada musim kemarau dan <20% pada musim hujan (Howeler 2009). Kondisi ini penting untuk dipertimbangkan pada saat memasok bahan baku ubikayu karena fluktuasi kadar pati akan berpengaruh terhadap proses dan rendemen bioetanol yang dihasilkan. Varietas UJ-5, UJ-3, dan klon CMM 99008-3 masih memiliki kadar pati >25%, meskipun dipanen pada musim hujan.

Informasi kadar gula total diperlukan untuk menentukan bobot umbi sebagai bahan baku etanol karena kadar gula total yang optimal untuk media fermentasi adalah $\pm 15\%$ b/v (Supriyanto 2006). Gula total merupakan jumlah gula (sebagai glukosa) yang secara alami terdapat dalam umbi dan gula hasil hidrolisis pati secara kimiawi. Kadar gula total umbi berbeda nyata antarvarietas/klon pada percobaan tahun 2006 dengan nilai tertinggi 45,3% pada klon CMM 99008-3 dan terendah pada varietas lokal Iding, klon CMM 99023-12, dan CMM 9906-12 (32,0-33,7%). Varietas/klon ubikayu yang kadar patinya tinggi tidak selalu memiliki kadar gula total tinggi karena bergantung pada tingkat kemudahan hidrolisis pati menjadi gula dan kandungan gula alamnya. Sebagai contoh, varietas Adira-4 yang kadar patinya lebih kecil 3,5% dibanding klon MLG 0311, memiliki kadar gula total relatif sama (41%) dengan MLG 0311. Namun klon CMM 99008-3, OMM 9908-4, dan varietas UJ-5 konsisten menunjukkan kadar pati dan kadar gula total tinggi.

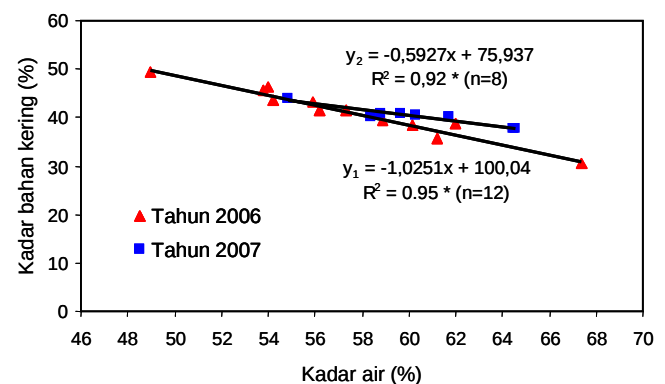
Semakin tinggi kadar gula total umbi segar, semakin rendah bobot umbi yang diperlukan dalam pembuatan bioetanol. Brazil dan Cina saat ini mengembangkan varietas ubikayu berkadar gula alami tinggi untuk bahan baku bioetanol menggunakan ubikayu mutan (Biopact 2008), sehingga menurunkan biaya produksi (Ceballos *et al.* 2006 dalam Nuamanya *et al.* 2010). Nilai konversi 6,1 kg umbi segar untuk menghasilkan 1 liter bioetanol 96% diasumsikan pada kadar gula total 30% dan ratio fermentasi 90% (Supriyanto 2006). Ini berarti, diperlukan <6,1 kg umbi berkadar gula total >30% untuk menghasilkan 1 liter bioetanol 96%. Dua belas varietas/klon ubikayu yang diteliti pada tahun 2006 memiliki kadar gula total >30%.

Perbedaan kadar gula total antarvarietas/klon ubikayu juga tampak pada percobaan tahun 2007 dengan nilai tertinggi pada varietas UJ-5 (39,1%) dan terendah pada klon CMM 99023-4 dan varietas Adira-4 (30,3-31,0%). Panen pada musim hujan 2007 menyebabkan penurunan kadar gula total 4-10%

dibanding percobaan 2006, kecuali varietas UJ-3 dengan penurunan hanya 0,5%. Pengamatan pada Oktober 2008 (dipanen umur 9 bulan pada musim hujan), menunjukkan kadar gula total sedikit lebih rendah (33,0%) untuk klon CMM 99008-3 dan relatif sama untuk klon OMM 9908-4 (34,1%) dibanding percobaan 2007. Namun, baik delapan varietas/klon yang diuji tahun 2007 maupun dua klon pada tahun 2008, masih memiliki kadar gula total >30%. Artinya, meskipun dipanen pada musim hujan, nilai konversi umbi masih <6,1 kg untuk menjadi 1 liter bioetanol 96%.

Kadar amilosa umbi hasil panen 2006 berbeda nyata antarvarietas/klon dengan nilai tertinggi pada varietas UJ-5 dan terendah pada klon CMM 99023-12 (Tabel 1). Kadar amilosa pada penelitian ini (24,7-31,1% bk) relatif sama dengan hasil penelitian Ginting dan Noerwijati (2008) pada 15 klon plasma nutfah ubikayu dan penelitian Zakhia *et al.* (1995) dalam Sanchez *et al.* (2009) masing-masing dengan kisaran 20,8-30,8% dan 22,7-32,4%. Namun angka ini lebih tinggi dibandingkan dengan hasil penelitian Anggraini *et al.* (2009) dan Nuamanya *et al.* (2010), masing-masing 17,1-21,3% dan 19,7-26,6%. Kadar amilosa umbi hasil panen pada 2007 untuk masing-masing varietas/klon relatif lebih rendah dibanding tahun 2006. Hal ini berkaitan dengan menurunnya kadar pati pada panen musim hujan 2007 dan perbedaan waktu tanam/panen (Asaoka *et al.* 1991 dalam Moorthy 2002).

Sebagai komponen penyusun pati, amilosa berperan dalam gelatinisasi pati dan kemudahan dihidrolisis menjadi gula. Pati yang telah mengalami gelatinisasi relatif lebih mudah dihidrolisis oleh enzim maupun asam dibanding pati mentah (Björck 1996). Richana *et al.* (2000) mendapatkan rendemen glukosa lebih tinggi pada pati garut yang kadar amilosanya lebih tinggi dibanding pati ubikayu dan sagu pada hidrolisis dengan enzim α -amilase. Varietas/klon UJ-5, CMM 99008-



Gambar 3. Hubungan antara kadar air dengan kadar bahan kering umbi dari 12 varietas/klon ubikayu percobaan 2006 dan delapan varietas/klon ubikayu pada percobaan 2007.

3, MLG 0311, CMM 99023-4, dan OMM 9908-4 memiliki kadar amilosa cukup tinggi (27-31% bk), namun tidak semuanya mempunyai kadar gula total tinggi. Hasil penelitian pada beras tanak dari beberapa genotipe padi juga tidak konsisten antara kadar amilosa dengan hasil hidrolisis pati. Namun pada penelitian *in vitro* pati gandum, ubikayu, dan *smooth pea*, kadar amilosa berbanding terbalik dengan kecepatan hidrolisis pati. Diduga, pati berkadar amilosa tinggi lebih lambat terhidrolisis oleh enzim karena belum sempurna tergelatinisasi pada saat pemasakan yang memerlukan suhu tinggi (Eliasson and Gudmundsson 1996). Pada penelitian ini, proses gelatinisasi/likuifikasi dilakukan pada suhu 90°C selama 30 menit, cukup memadai untuk gelatinisasi pati ubikayu yang memerlukan suhu 54,5°C dalam waktu 23 menit (Richana *et al.* 2000).

Konversi Ubikayu Menjadi Bioetanol

Nilai konversi ubikayu menjadi bioetanol ditentukan oleh kadar gula total umbi, ratio fermentasi gula menjadi bioetanol, dan efisiensi destilasi etanol yang diperoleh (8-11%) menjadi bioetanol 96% (kadar bioetanol tertinggi yang digunakan sebagai tolok ukur dalam penelitian ini). Kadar gula total dihitung sebagai jumlah gula alami yang dikandung umbi dan gula hasil hidrolisis pati dengan menggunakan asam. Sementara pada pembuatan bioetanol, proses hidrolisis pati dilakukan secara enzimatik, sehingga hasil gula yang diperoleh dipengaruhi oleh kemudahan pati dihidrolisis oleh enzim. Kecepatan hidrolisis tidak hanya ditentukan oleh bobot molekul (proporsi) amilosa dan amilopektin sebagai komponen penyusun pati, tetapi juga oleh panjang pendeknya rantai kedua komponen tersebut yang bervariasi antarjenis ubikayu. Menurut Shannon dan Garwood (1984) dalam Moorthy (2002), panjang rantai amilosa pati ubikayu berkisar antara 100-10.000 unit glukosa, sementara amilopektin 20-30. Selain itu, kemudahan hidrolisis pati oleh enzim juga dipengaruhi oleh ukuran granula pati, semakin kecil ukurannya semakin mudah menyerap air dan dihidrolisis oleh enzim (BIOTEC 2003).

Ratio fermentasi merupakan perbandingan antara bioetanol yang diperoleh dalam praktek (riil) dengan yang diperoleh secara teoritis (berdasarkan kadar gula total awal fermentasi) dikali 100%. Ratio fermentasi maksimum dapat mencapai 96%, namun dalam praktek, khususnya skala besar (8.000 liter etanol/hari) biasanya berkisar antara 86-88% (JICA 1983).

Tabel 3 menunjukkan ratio fermentasi 12 varietas/klon ubikayu yang diteliti pada tahun 2006 berbeda nyata. Varietas UJ-3 dan klon MLG 0311 memiliki ratio fermentasi tertinggi (91,6-92,2%), sedang varietas Gebang terendah (76,9%). Kadar gula awal media untuk semua varietas/

klon dibuat optimum untuk pertumbuhan dan perkembangan *yeast* (14-16% b/v), maka perbedaan ratio fermentasi disebabkan oleh perbedaan jumlah/kadar bioetanol yang dihasilkan selama fermentasi. Hal ini menunjukkan tidak semua gula yang tersedia di awal proses fermentasi dapat diubah seluruhnya menjadi bioetanol. Menurut Riyanti (2009), *yeast saccharomyces cerevisiae* dapat menghasilkan etanol cukup tinggi (10-12% v/v). Pada penelitian ini, kadar bioetanol yang diperoleh dari 12 varietas/klon ubikayu bervariasi antara 7,6-11,8% v/v dengan kadar gula total akhir fermentasi 0,5-2,4%.

Untuk mengamati fenomena tersebut, selain percobaan skala laboratorium (500 ml) untuk 12 varietas/klon, juga dilakukan percobaan fermentasi klon MLG 0311 dan CMM 99008-3 di dalam tangki dengan kapasitas 20 liter. Pengamatan dilakukan setiap 8 jam selama 72 jam fermentasi (Gambar 4). Pada 8 jam pertama fermentasi, penurunan kadar gula total dan pembentukan bioetanol relatif kecil (sekitar 1%), baik pada klon MLG 0311 (A) maupun CMM 99008-3 (B). Namun setelah 8 jam terjadi penurunan kadar gula total dan pembentukan bioetanol secara cepat yang berlangsung hingga jam ke-32 pada klon MLG 0311 dan jam ke-24 pada klon CMM 99008-3. Setelah itu, kedua proses berjalan lambat sampai jam ke-72. Proses penurunan kadar gula yang berlangsung lebih lama pada klon MLG 0311 daripada CMM 99008-3 menyebabkan jumlah bioetanol yang dihasilkan lebih tinggi dengan ratio fermentasi masing-masing 93,6% dan 85,3%. Nilai ini relatif sama dengan ratio fermentasi yang diperoleh untuk kedua klon tersebut pada skala laboratorium (Tabel 3). Atthasampunna *et al.* (1987) yang melakukan pembuatan bioetanol dari ubikayu dengan kondisi likuifikasi, sakarifikasi, dan fermentasi (kapasitas 20 liter) yang relatif sama dengan penelitian ini mendapatkan kisaran ratio fermentasi 88,0-94,8%.

Fakta di atas menunjukkan bahwa jumlah bioetanol yang dihasilkan selama fermentasi bergantung pada (1) kondisi media (konsentrasi dan nutrisi substrat, pH dan suhu), (2) jumlah dan aktivitas *yeast* yang diinokulasikan, dan (3) ada tidaknya kontaminasi mikrobia lain, terutama bakteri penghasil asam. Kondisi kurang mendukung untuk berlangsungnya proses fermentasi karena adanya faktor-faktor di atas yang akan menyebabkan (1) tidak semua gula yang tersedia dapat diubah menjadi etanol karena terbentuknya senyawa-senyawa asam seperti asam laktat, asetat, dan butirat (Gokarn *et al.* 1997 dalam Broto dan Richana 2006) atau (2) jumlah gula yang tersisa masih relatif tinggi di akhir fermentasi karena *yeast* kurang optimal bekerja. Hal ini tampak dari peningkatan dan penurunan jumlah sel *yeast* ($\log \times 10^7$) yang relatif berbeda antara klon MLG 0311 dan CMM 99008-3 selama fermentasi (Gambar 4).

Dengan meningkatnya kadar etanol dalam media fermentasi, pertumbuhan *yeast* semakin terhambat. Kondisi ini dapat diamati dari jumlah sel *yeast* yang relatif lebih kecil pada klon MLG 0311, khususnya pada jam ke-32 karena kadar bioetanol yang dihasilkan lebih tinggi dibanding klon CMM 99088-3. Menurut Riyanti (2009), *yeast Saccharomyces cerevisiae* relatif tahan pada media dengan kadar etanol 12-14%. Kadar bioetanol akhir fermentasi untuk klon MLG 0311 diperoleh sebesar 9,7%, sementara untuk klon CMM 99008-3 sebesar 7,8%, jadi masih memungkinkan bagi *yeast* untuk beraktivitas dengan baik. Bila dilihat dari perbedaan kadar gula total akhir yang relatif kecil antara klon MLG 0311 (0,87%) dan CMM 99008-3 (1,01%), namun perbedaan kadar bioetanol yang dihasilkan 2,1%, maka ada kemungkinan sebagian gula tersebut difermentasi menjadi senyawa-senyawa asam. Hal ini juga dapat diamati dari nilai pH akhir media klon CMM 99008-3 (4,45) yang relatif lebih rendah dibanding klon MLG 0311 (5,01), meskipun pH awal kedua media tersebut sama (6,16 dan 6,13).

Ratio fermentasi yang berbeda nyata antarvarietas/klon juga diamati pada percobaan tahun 2007 dengan nilai tertinggi diperoleh pada klon CMM 99088-3 dan OMM 9908-4 (94,4-94,8%) dan terendah pada klon CMM 99023-4 dan varietas Adira-4 (Tabel 4). Hal ini relatif berbeda dengan hasil percobaan 2006, dimana klon MLG 0311 dan varietas UJ-3 menunjukkan ratio fermentasi tertinggi (Tabel 3). Perbedaan ratio fermentasi 2-9% untuk varietas/klon yang sama dibanding dengan percobaan 2006, kecuali untuk varietas UJ-3 yang relatif sama nilainya.

Faktor penentu fermentasi seperti yang telah dibahas di atas dapat menjadi penyebab perbedaan tersebut, terutama aktivitas *yeast* yang kemungkinan berbeda dengan tahun sebelumnya. Oleh karena itu, pada tahun 2008 dilakukan percobaan ulang untuk klon CMM 99008-3 dan OMM 9908-4 dan diperoleh ratio fermentasi masing-masing 93,1% dan 92,2%, sedikit lebih rendah (1 - 2,5%) dibanding percobaan tahun 2007. Hal ini kembali menunjukkan bahwa kondisi fermentasi memegang peranan penting dalam menentukan ratio fermentasi.

Berdasarkan kadar gula total umbi, ratio fermentasi dan efisiensi destilasi (dianggap 95%), dapat dihitung nilai konversi umbi segar menjadi bioetanol 96% (kg/l). Nilai konversi ini berbeda nyata untuk 12 varietas/klon yang diuji pada tahun 2006 dengan nilai terkecil diperoleh pada klon CMM 99008-3 dan terbesar pada klon CMM 99023-12. Semakin kecil nilai konversi, semakin dikehendaki karena semakin sedikit jumlah umbi yang diperlukan untuk menghasilkan 1 liter bioetanol. Pada penelitian ini diperoleh empat varietas/klon yang nilai konversinya $\leq 4,5$ kg/l, yakni CMM 99008-3, MLG 0311, OMM 9908-4, dan UJ-5. Sementara tujuh klon lainnya berkisar antara 4,5-5,7 kg dan satu klon 6,5 kg (Tabel 3). Angka konversi 11 varietas/klon tersebut masih di bawah angka konversi yang selama ini digunakan untuk ubikayu (6,1 kg umbi segar/liter bioetanol 96%). Varietas Rayong 9 yang direkomendasikan untuk bahan baku bioetanol di Thailand memiliki nilai konversi 4,81 kg umbi segar/liter bioetanol yang dihasilkan (Charoenrath *et al.* 2006 dalam Howeler 2009).

Tabel 3. Ratio fermentasi, nilai konversi menjadi etanol 96%, hasil umbi, pati, dan bioetanol 12 varietas/klon ubikayu. Sulusuban, Lampung Tengah, 2006.

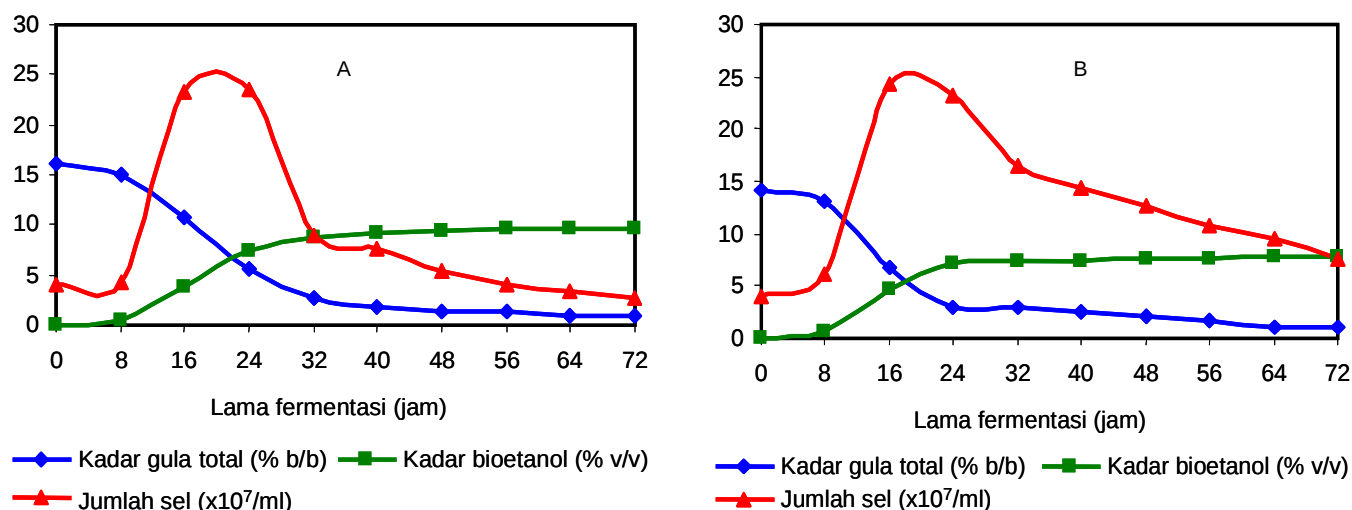
Varietas/klon ubikayu	Ratio fermentasi (%) ^a	Konversi umbi segar menjadi etanol (kg/liter) ^b	Hasil panen umbi segar (ton/ha)	Hasil pati (kg/ha) ^c	Hasil bioetanol (liter/ha) ^d
Gebang	76,9 g	5,54 c	22	6.327	3.971
Adira-4	85,0 d	4,70 g	17	4.495	3.617
Iding	90,7 b	5,30 d	13	3.116	2.453
CMM 99023-12	79,1 f	6,48 a	31,3	6.448	4.830
CMM 9906-12	85,2 d	5,70 b	24,8	6.188	4.351
OMM 9908-4	85,4 d	4,52 h	31,7	9.352	7.013
CMM 99023-4	88,0 c	5,08 e	25,3	6.186	4.980
CMM 99008-3	85,4 d	4,23 i	22,3	7.479	5.272
Malang-6	83,4 e	5,01 e	15,6	4.426	3.114
MLG 0311	92,2 a	4,29 i	27	8.081	6.294
UJ-3	91,6 ab	4,93 f	25	6.788	5.071
UJ-5	83,1 c	4,52 h	30	8.865	6.637
KK (%)	2	1,87	-	-	-
BNT 5 %	1,4	0,08	-	-	-

^a Fermentasi ubikayu segar menjadi etanol dengan kadar 8-12%

^b Bioetanol dengan kadar 96% (efisiensi destilasi dianggap 95%)

^c Dihitung berdasarkan kadar pati umbi segar dan hasil panen umbi/ha

^d Dihitung berdasarkan konversi umbi segar menjadi etanol dan hasil panen umbi/ha



Gambar 4. Penurunan kadar gula total, peningkatan kadar bioetanol, dan peningkatan/penurunan jumlah sel yeast selama fermentasi pada klon MLG 0311 (A) dan klon CMM 99008-3 (B).

Perbedaan angka konversi ini nyata antarvarietas/klon yang diuji pada tahun 2007 (Tabel 4) dengan angka terkecil pada klon CMM 99088-3 (4,71 kg/l) dan terbesar pada klon CMM 99023-4 (6,60 kg/l). Meskipun terjadi penurunan kadar gula total yang cukup signifikan pada klon CMM 99008-3 dibandingkan dengan percobaan 2006, namun karena ratio fermentasinya meningkat pada percobaan 2007, maka perbedaan angka konversi pada kedua percobaan relatif kecil (0,48 kg/l). Angka konversi terkecil berikutnya tampak pada varietas UJ-3 dan UJ-5. Urutan ini berbeda dengan hasil percobaan pada tahun 2006 (Tabel 3), karena adanya penurunan kadar gula total dan penurunan/peningkatan ratio fermentasi pada percobaan 2007. Tiga dari delapan varietas/klon ubikayu yang diuji memiliki nilai konversi < 5 kg/l bioetanol, yakni CMM 99008-3, UJ-3, dan UJ-5, sedangkan tiga varietas/klon lainnya antara 5-6 kg/l dan dua varietas/klon > 6 kg/l (Tabel 4).

Produktivitas varietas/klon juga penting dipertimbangkan dalam pengembangan ubikayu sebagai bahan baku bioetanol. Hasil varietas/klon ubikayu pada tahun 2006 di Sulusuban, Lampung Tengah, berkisar antara 15,6-31,7 t/ha. Dari empat klon yang nilai konversinya kecil, OMM 9908-4 dan UJ-5 memiliki potensi hasil tertinggi, berkisar antara 30-32 t/ha, sedang klon CMM 99008-3 dan MLG 0311 hanya 22,3 t dan 27,0 t/ha. Hasil panen pada tahun 2007 relatif lebih tinggi dibanding tahun 2006 untuk varietas/klon ubikayu yang sama dengan kisaran peningkatan 5,2-15,5 t/ha. Hasil tertinggi sebesar 38,23 t/ha diperoleh pada varietas UJ-5 (Tabel 4). Perbedaan hasil panen yang cukup berarti antardua percobaan ini dapat disebabkan oleh perbedaan musim pada saat

panen, karena umbi yang dipanen pada musim hujan (2007) kadar airnya lebih tinggi sehingga bobot umbi juga bertambah. Selain itu, budi daya ubikayu dilakukan lebih intensif pada percobaan tahun 2007, terutama pemupukan (200 kg urea/ha, 100 kg SP-36/ha, 100 kg KCl/ha, dan 5 t/ha pupuk kandang) dibandingkan dengan percobaan 2006 (150 kg urea/ha, 150 kg SP-36/ha, dan 150 kg KCl/ha), sehingga hasil umbi meningkat sesuai dengan potensi hasil masing-masing varietas/klon tersebut. Varietas UJ-5, UJ-3, dan Adira-4 masing-masing memiliki potensi hasil 38 t/ha, 35 t/ha, dan 35 t/ha (Balitkabi 2008). Ketiga varietas ini cukup dikenal dan telah dibudidayakan oleh petani di Lampung (lahan kering masam) sebagai sentra produksi ubikayu terbesar di Indonesia.

Pada pemanenan musim kemarau (2006), varietas/klon OMM 99008-4, UJ-5, MLG 0311, dan CMM 99008-3 memberikan hasil pati tertinggi dari 12 klon yang diuji. Urutan ini juga konsisten untuk jumlah bioetanol yang dihasilkan. Namun, untuk panen musim hujan (2007), urutan hasil pati tersebut berubah menjadi UJ-5, MLG 0311, UJ-3, dan OMM 9908-4. Sementara urutan untuk hasil bioetanol sedikit berbeda, yakni UJ-5, UJ-3, OMM 9908-4, dan MLG 0311. Hasil bioetanol pada penelitian ini, baik pada tahun 2006 maupun 2007, masih dalam kisaran yang dilaporkan oleh Anonim (1981) dalam Prihandana dan Hendroko (2007), yakni 2.000-7.000 l/ha.

Oleh karena itu, dalam pengembangan ubikayu sebagai bahan baku bioetanol perlu mempertimbangkan penggunaan varietas/klon yang kadar pati dan potensi hasilnya tinggi, nilai konversi menjadi bioetanol kecil, dan waktu panen pada musim kemarau.

Tabel 4. Ratio fermentasi, nilai konversi menjadi etanol 96%, hasil umbi, pati, dan hasil bioetanol delapan varietas/klon ubikayu. Sulusuban, Lampung Tengah, 2007.

Varietas/klon ubikayu	Ratio fermentasi (%) ^a	Konversi umbi segar menjadi etanol (kg/liter) ^b	Hasil panen umbi segar (ton/ha)	Hasil pati (kg/ha) ^c	Hasil bioetanol (liter/ha) ^d
UJ 3	91,6 b	4,86 e	36,8	9.465	7.566
UJ 5	86,0 d	4,86 e	38,2	10.513	7.866
Adira-4	83,3 e	6,34 b	32,5	7.348	5.122
Malang-6	88,2 c	5,44 c	23,7	5.581	4.362
MLG 0311	88,6 c	5,54 c	36,4	8.849	6.565
CMM 99023-4	81,7 e	6,60 a	31,1	6.802	4.717
CMM 99008-3	94,4 a	4,71 f	29,3	7.893	6.221
OMM 9908-4	94,8 a	5,06 d	36,9	9.055	7.298
KK (%)	1,2	1,38	-	-	-
BNT 5 %	1,8	0,14	-	-	-

^a Fermentasi ubikayu segar menjadi etanol dengan kadar 8-12%

^b Bioetanol dengan kadar 96% (efisiensi destilasi dianggap 95%)

^c Dihitung berdasarkan kadar pati umbi segar dan hasil panen umbi/ha

^d Dihitung berdasarkan konversi umbi segar menjadi etanol dan hasil panen umbi/ha

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Pada umur panen dan lokasi yang sama, panen ubikayu pada musim hujan (2007) menyebabkan kadar air umbi lebih tinggi 1-10%, kadar pati dan gula total lebih rendah 1,4-6,6% dan 0,5-10% dibanding panen pada musim kemarau (2006).
2. Selain musim, faktor genetis juga menyebabkan perbedaan kadar air, pati, dan gula total umbi.
3. Dari 12 varietas/klon yang dipanen pada musim kemarau (2006), diperoleh empat varietas/klon yang nilai konversi umbi segarnya $\leq 4,5$ kg/liter bioetanol 96%, yakni CMM 99008-3, MLG 0311, OMM 9908-4, dan UJ-5. Sementara pada panen musim hujan (2007), juga diperoleh empat klon yang nilai konversinya 4,5-5 kg/l bioetanol 96%, yakni CMM 99008-3, UJ-3, UJ-5, dan OMM 9908-4. Nilai konversi tersebut lebih rendah dibanding standar untuk ubikayu, yaitu 6,1 kg umbi segar/liter bioetanol 96%. Nilai konversi yang berbeda pada musim panen yang berbeda penting untuk estimasi kebutuhan pasokan ubikayu sebagai bahan baku bioetanol.
4. Varietas/klon yang dipanen pada musim hujan (2007), UJ-5 menghasilkan bioetanol tertinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Ir. Yudi Widodo, MS, Sdr. Suprpto, SP, dan Sdr. Ir. A. Munif (Staf Balitkabi), Sdr. Fitri Nurkayati, ST, Sdr. Asep, dan Sdr. Hartono (Staf BBTP-BPPT, Lampung) yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, V., E. Sudarmonowati, N.S. Hartati, L. Suurs and R.G.F. Visser. 2009. Characterization of cassava starch attributes of different genotypes. *Starch* 61:472-481.
- Atthasampunna, P., P. Somchai, A. Eur-aree and S. Artjariyasripong. 1987. Production of fuel ethanol from cassava. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 3(2):135-142.
- Balat, M., H. Balat and C. Öz. 2008. Progress in bioethanol processing. *Progress in Energy and Combustion Science* 34:551-573.
- Balitkabi. 2008. Deskripsi varietas unggul kacang-kacangan dan umbi-umbian. Balitkabi. Malang. 171p.
- Benesi, I.R.M., Labuschagne, M.T., Dixon, A.G.O. and Mahungu, N.M. 2004. Stability of native starch quality parameters, starch extraction and root dry matter of cassava genotypes in different environments. *J Sci Food Agric* 84:1381-1388.
- Biopact. 2008. China and Brazil cooperate on newly discovered sweet cassava for ethanol. <http://news.mongabay.com/bioenergy/2008/02/china-and-brazil-cooperate-on-newly.html> (accessed on 23rd March 2010).
- BIOTEC. 2003. Physically modified cassava starch and its potential application in food and non-food industry. www.me.me/A/BIOTEC.htm (accessed on 18th February 2003).
- Björck, I. 1996. Starch: Nutritional aspects. p. 505-553. In A.C. Eliasson (ed). *Carbohydrates in Food*. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Bureau of Agricultural Reserve. 2009. Feasibility study of bioethanol production from cassava in the Philippines. www.bar.gov.ph/biofuelsinfo/bioethanol/cassava.asp (accessed on 23rd March 2010).
- Classen, P.A.M., J.B. van Lier, A.M. L. Contreras, E.W.J. van Niel, L. Sijsma, A.J.M. Stams, S.S. de Vries, and R.A. Weusthuis. 1999. Utilisation of biomass for the supply of energy carriers. *Appl. Microbiol. Biotechnol* 52:741-755.
- Eliasson, A.C. and M. Gudmundsson. 1996. Starch: physicochemical and functional aspects. p. 431-504. In A.C. Eliasson (ed). *Carbohydrates in Food*. Marcel Dekker, Inc. New York.

- Futura. 2003. BioEthanol. www.futura-petroleum.com/bioethanol.htm (accessed on 6th July 2005).
- Ginting, E. dan K. Noerwijati. 2008. Identifikasi 15 klon plasma nutfah ubikayu untuk bahan pangan dan bahan baku industri. *Agritek* 16(3):418-424.
- Ginting, E. T. Sundari, dan N. Saleh. 2009. Ubikayu sebagai bahan baku industri bioetanol. *Buletin Palawija* 17:1-10.
- Howeler, R. 2009. Cassava production and utilization in Asia and its potential as a biofuel. www.maff.go.jp/primaff/meeting/gaiyo/seminar/pdf/091125shiryo.pdf (accessed on 23th March 2010).
- JICA.1983. Technical information for 8 Kl/day ethanol production from cassava at the BERDC (Biomass Energy Research and Development Centre) in Indonesia. JICA (Japan International Cooperation Agency). 259p.
- Johnson, R., G. Padmaja, and S.N. Moorthy. 2009. Comparative production of glucose and high fructose syrup from cassava and sweetpotato roots by direct conversion techniques. *Innovative Food Science and Emerging Technologies (in press)*.
- Kompas. 2006. Molindo butuh 500.000 ton singkong untuk 'biofuel'. Jakarta, 23 Desember 2006.
- Moorthy, S.N. 2002. Physicochemical and functional properties of tropical tuber starches: A Review. *Starch* 54:559-592.
- Nuwamanya, E. Y. Baguma, N. Emmambux, J. Taylor and R. Patrick. 2010. Physicochemical and functional characteristics of cassava starch in Ugandan varieties and their progenies. *J. Plant Breeding and Crop Science* 2(1):1-11.
- Pranowo. 2007. Soekaeni sukses mengembangkan agroindustri bioetanol di Sukabumi. <http://www.pusatagroindustri.com/2007/11/23/soekaeni-sukses-men...> (diakses 16 Januari 2008).
- Prihandana, R. dan R. Hendroko. 2007. Energi hijau. Penebar Swadaya. Jakarta. 248 p.
- Richana, N., P. Lestari, N. Chilmijati, dan S. Widowati. 2000. Karakterisasi bahan berpati (tapioka, garut dan sagu) dan pemanfaatannya menjadi glukosa cair. p. 396-406. *Dalam* L. Nuraida, R. Dewanti, Hariyadi dan S. Budijanto (Eds). *Prosiding Seminar Nasional Industri Pangan Volume I*. Surabaya, 10-11 Oktober 2000. PATPI.
- Riyanti, E.I. 2009. Biomassa sebagai bahan baku bioetanol. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian* 28(3):101-110.
- Sanchez, T., E. Salcedo, H. Ceballos, D. Dufour, G. Mafla, N. Morante, F. Calle, J.C. Perez, D. Debouck, G. Jaramillo, and I.X. Moreno. 2009. Screening of starch quality traits in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Starch* 61:12-19.
- Supriyanto. 2006. Prospek pengembangan industri bioetanol dari ubikayu. p. 88-95. *Dalam* D. Harnowo, Subandi dan N. Saleh (Eds). *Prospek, strategi dan teknologi pengembangan ubikayu untuk agroindustri dan ketahanan pangan*. Puslitbang Tanaman Pangan, Bogor.