

Evaluasi Hasil dan Kandungan Pati Mutan Ubi Kayu Hasil Iradiasi Sinar Gamma Generasi M_1V_4

Yield and Starch Content Evaluation of Gamma Irradiated Cassava Mutants at M_1V_4 Generation

Isnani Subekti¹, Nurul Khumaida^{2*}, Sintho Wahyuning Ardie², dan Muhamad Syukur²

¹Program Studi Pemuliaan dan Bioteknologi Tanaman, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor

²Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor
(Bogor Agricultural University), Jl. Meranti, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680, Indonesia

Diterima 19 September 2017/Disetujui 29 Desember 2017

ABSTRACT

Cassava is one of the important starch producer crops. Although Indonesia ranks as the third largest cassava producer country, Indonesia still imports cassava starch to meet the domestic demand in food and non-food industries. Gamma ray irradiation has been implemented to generate cassava mutants in order to support development of superior cassava variety, especially high yield and high starch content, especially high yield and high starch content. The objectives of this research were to evaluate the yield potential and the starch content of gamma irradiated 40 putative cassava mutants at M_1V_4 generation. This research was arranged in randomized complete block design with three replications and conducted at Cikabayan Experimental Field, IPB, Bogor, from May 2016 to March 2017. The starch content was measured using gravimetric methods. The results showed that five mutants, G2142, G3151, G2141, G1143, and G3111, had higher tuber weight per plant (6-7 kg per plant) compared to the background 'Gajah' genotype (4.7 kg per plant). 'G2112' mutant genotype showed higher starch content (23.86%) compared to the background 'Gajah' genotype (17.65%). The specific gravity (SG) was positively correlated with starch content ($r = 0.905$), indicated that the higher the SG, the higher the starch content of cassava.

Keywords: gravimetric, mutant, specific gravity (SG), yield

ABSTRAK

Ubi kayu merupakan salah satu tanaman utama penghasil pati. Indonesia adalah negara penghasil ubi kayu terbesar ke-tiga, namun demikian Indonesia masih mengimpor pati ubi kayu sebagai bahan baku industri pangan dan non-pangan. Iradiasi sinar gamma dapat diaplikasikan untuk menciptakan mutan ubi kayu, untuk mendukung pengembangan varietas baru ubi kayu dengan produksi dan kandungan pati tinggi. Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi potensi hasil dan kandungan pati dari 40 mutan putatif hasil iradiasi sinar gamma pada generasi M_1V_4 . Penelitian dilakukan menggunakan rancangan kelompok lengkap teracak dengan tiga ulangan di Kebun Percobaan Cikabayan, IPB, Bogor dari bulan Mei 2017 sampai Maret 2017. Kandungan pati diukur menggunakan metode gravimetri. Hasil penelitian menunjukkan terdapat lima mutan, yaitu G2142, G3151, G2141, G1143, dan G3111, memiliki bobot umbi yang lebih tinggi per tanaman (6-7 kg) dibandingkan genotipe asal, Gajah (4.7 kg). Genotipe mutan G2112 memiliki kandungan pati tertinggi (23.86%) dibandingkan genotipe asal (17.65%). Nilai specific gravity (SG) berkorelasi positif dengan kandungan pati ($r = 0.905$), menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai SG, maka semakin tinggi kandungan pati ubi kayu.

Kata kunci: gravimetri, mutan, produksi, specific gravity (SG)

PENDAHULUAN

Ubi kayu merupakan salah satu tanaman utama penghasil pati, selain jagung, sorghum, gandum, beras, sagu, dan kentang, dengan karakteristik masing-masing pati

berbeda. Pati tersusun atas amilosa (20-30%) dan amilopektin (70-80%), dengan enzim yang berperan dalam pembentukan amilosa adalah *granule bound starch synthase* (GBSSI) dan enzim yang berperan dalam pembentukan amilopektin adalah *soluble starch synthases* (SSs), *starch branching enzymes* (SBE), dan *starch debranching enzymes* (DBE) (Keeling dan Myers, 2010). Pati digunakan sebagai bahan baku industri pada sektor pangan dan non-pangan (Alcazar-Alay dan Meireles, 2015). Pada sektor pangan, pati dapat

* Penulis untuk korespondensi. e-mail: nurul_khumaida@apps.ipb.ac.id

digunakan langsung atau diolah menjadi produk turunan, misalnya sebagai bahan pengental (Waterschoot *et al.*, 2015), sedangkan pada industri non-pangan, pati digunakan pada industri kertas dan kayu lapis, industri kimia dan farmasi, industri pakan ternak, industri tekstil, industri plastik (Alcazar-Alay dan Meireles, 2015).

Data ekspor dan impor pati dari Kemenperin (2017) menunjukkan bahwa kebutuhan pati di Indonesia sangat banyak jika dilihat dari selisih nilai ekspor dan impor. Tahun 2015, nilai ekspor pati ubi kayu sebesar US\$ 5.59 juta dan nilai impor sebesar US\$ 256.4 juta, namun tahun 2016 nilai ekspor dan impor mengalami penurunan. Nilai ekspor dan impor pati ubi kayu untuk tahun 2016 sebesar US\$ 5.04 juta, namun demikian, nilai impor masih di atas nilai ekspor. Data ini menunjukkan bahwa kebutuhan pati ubi kayu di Indonesia masih cukup tinggi, dengan demikian, diperlukan inovasi varietas ubi kayu yang memiliki potensi untuk menghasilkan pati dalam jumlah tinggi.

Peningkatan kandungan pati pada ubi kayu dilakukan pada kualitas dan kuantitas pati yang dihasilkan per genotipe. Penelitian untuk meningkatkan kualitas pati telah dilakukan oleh Zhao *et al.* (2011), yaitu dengan menurunkan regulasi ekspresi gen *GBSSI*, yang berperan dalam sintesis amilosa, sehingga diperoleh ubi kayu dengan kandungan amilosa <5%, sedangkan Karlstrom *et al.* (2016) melakukan persilangan antara genotipe sumber pati tinggi dengan genotipe dengan karakter agronomi terbaik. Rolland-Sabate *et al.* (2011) melaporkan bahwa peningkatan kuantitas kandungan pati dapat dilakukan menggunakan iradiasi sinar gamma. Genotipe ubi kayu yang dimutasi menggunakan sinar gamma mengalami perubahan genetik dalam potensinya menghasilkan pati, dapat lebih rendah atau lebih tinggi dari tetuanya (Ceballos *et al.*, 2008; Rahmiati *et al.*, 2016). Kandungan pati yang tinggi selain dipengaruhi secara genetik, juga dipengaruhi oleh fisiologi tanaman. Li *et al.* (2016) menyatakan bahwa kandungan pati yang terakumulasi pada akar (*fresh root*) dipengaruhi oleh tingginya kapasitas transport batang *stem flow rate* (SFR), tingginya sintesis pati (dipengaruhi oleh aktivitas enzimatis) di batang dan rendahnya degradasi di akar, serta tingginya ekspresi gen terkait transport gula pada batang. Selain itu, kondisi lingkungan juga berpengaruh terhadap kandungan pati suatu genotipe, seperti dilaporkan oleh Moreno dan Gourji (2015), bahwa curah hujan mempengaruhi kandungan pati, tingginya curah hujan akan meningkatkan kandungan pati.

Tekstur umbi ditentukan oleh rasio bahan kering terhadap air pada umbi. Semakin tinggi komposisi bahan kering dan semakin rendah komposisi air pada umbi, mengindikasikan umbi memiliki nilai *specific gravity* (SG) semakin tinggi. Nilai SG berkorelasi tinggi dengan kandungan pati dan persentase total padatan (Department of Environment and Primary Industries, 2010). Penghitungan kandungan pati menggunakan nilai SG akan memudahkan dalam memprediksi pati yang dapat dihasilkan, karena biasanya pengujian kandungan pati memerlukan waktu lama dan biaya yang cukup mahal.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi potensi hasil genotipe mutan ubi kayu asal genotipe Gajah dan kandungan pati menggunakan metode gravimetri.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan terhadap 40 genotipe mutan hasil iradiasi sinar gamma generasi M_1V_4 dan satu tanaman asal (Gajah). Genotipe Gajah merupakan genotipe lokal asal Kalimantan Timur, dengan potensi hasil tinggi (>40 ton ha⁻¹) dan rasa umbi tidak pahit. Iradiasi dilakukan dengan tujuan meningkatkan daya adaptasinya pada lahan bertanah masam dan meningkatkan potensi genotipe dalam menghasilkan pati. Iradiasi generasi M_1V_1 dilakukan pada tahun 2013 di Laboratorium Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Iradiasi (PATIR), Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) menggunakan radiator *Gamma Chamber 4000A*, menggunakan lima dosis iradiasi (0, 15, 30, 45, dan 60 Gy). Tanaman generasi M_1V_1 yang tumbuh adalah setek perlakuan iradiasi 0 dan 15 Gy, sehingga yang dilanjutkan penanaman generasi M_1V_2 , M_1V_3 , dan M_1V_4 adalah mutan-mutan hasil iradiasi 15 Gy dan tanaman asal. Pemberian kodefikasi diurutkan dari nama genotipe yaitu Gajah (G), diikuti nomor ulangan asal tanaman dan dosis iradiasi serta nomor tanaman pada generasi sebelumnya. Misalnya G1121, maka pembacaannya adalah genotipe Gajah dari ulangan satu, dengan dosis iradiasi 15 Gy dan tanaman nomor 2 generasi M_1V_2 dan dilanjutkan menjadi tanaman nomor 1 generasi M_1V_3 . Seleksi mutan dilakukan pada generasi M_1V_4 dengan karakter produksi tinggi dan kandungan pati tinggi.

Penelitian dilakukan di lahan Kebun Percobaan Cikabayan, Institut Pertanian Bogor (IPB) pada bulan Mei 2016 sampai dengan Maret 2017 menggunakan sistem budidaya standar untuk ubi kayu. Penanaman dilakukan menggunakan rancangan kelompok lengkap teracak (RKLK). Setiap genotipe dalam satu ulangan terdiri atas lima tanaman, dan ditanam dalam tiga ulangan. Pemanenan dilakukan pada saat tanaman ubi kayu berumur sebelas bulan, kemudian dilakukan penimbangan bobot umbi per tanaman, bobot umbi di udara (x) dan di dalam air (y). Penimbangan bobot umbi per tanaman dilakukan pada seluruh umbi yang dihasilkan per tanaman, sedangkan bobot umbi di udara dilakukan pada umbi yang berukuran besar atau umbi ekonomis (panjang ≥ 20 cm). Penghitungan estimasi kandungan pati menggunakan metode gravimetri (Kawano *et al.*, 1987), yaitu dengan mencari nilai SG dengan rumus $SG = (x / (x-y))$ kemudian dimasukkan dalam rumus kandungan pati (%) = $(112.1 \times SG) - 106.4$. Penghitungan kandungan pati metode gravimetri menggunakan nilai SG, dimana nilai SG tersebut menentukan total padatan pada umbi (van Niekerk *et al.*, 2016).

Analisis data yang dilakukan adalah analisis sidik ragam, untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap genotipe yang diamati, analisis korelasi untuk mengetahui keeratan hubungan antara karakter bobot umbi dengan kandungan pati, dan analisis heritabilitas untuk menentukan karakter terkait kandungan pati yang dapat digunakan

sebagai karakter seleksi. Nilai heritabilitas arti luas (h^2bs) dihitung menggunakan rumus $h^2bs = (\sigma^2g / \sigma^2p) \times 100\%$; $\sigma^2g = (KTm - KTe) / r$; $\sigma^2p = \sigma^2g + \sigma^2e$; $\sigma^2e = KTe / r$, dimana h^2bs = heritabilitas arti luas; σ^2g = ragam genetik (mutan); σ^2p = ragam fenotip; σ^2e = ragam lingkungan; KTm = Kuadrat tengah mutan; KTe = Kuadrat tengah galat; r = ulangan. Nilai heritabilitas (%) dikelompokkan menjadi tiga, yaitu rendah (nilai h^2bs 0%-20%), sedang (nilai h^2bs 20%-50%), dan tinggi (nilai h^2bs >50%) (Sobir dan Syukur, 2015). Analisis sidik ragam, uji lanjut Dunnett dan analisis korelasi dilakukan menggunakan program *Statistical Tool for Agricultural Research* (STAR), sedangkan penghitungan heritabilitas menggunakan Ms. Excel.

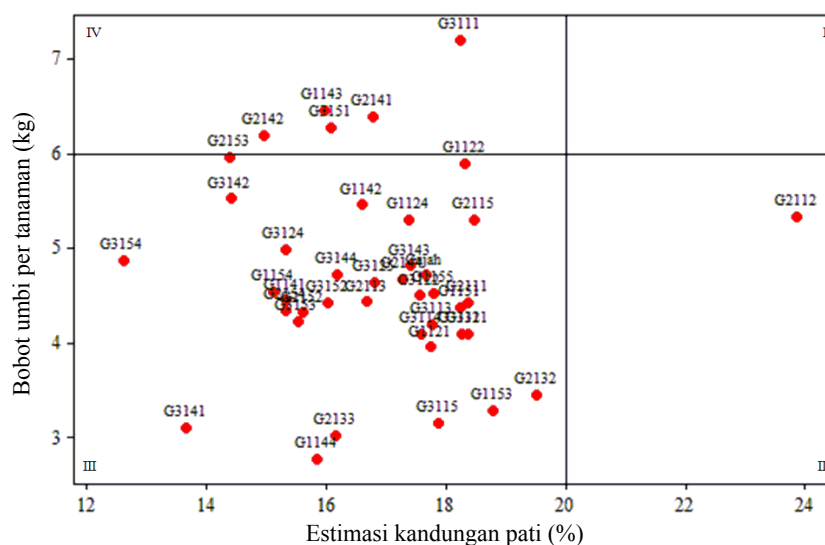
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian pemuliaan ubi kayu dilakukan selain untuk meningkatkan produktivitas umbi (*fresh root*), juga untuk meningkatkan kualitas umbinya, seperti peningkatan kandungan pati. Populasi mutan genotipe Gajah generasi M_1V_4 sudah stabil secara genetik pada karakter bobot umbi (data tidak ditampilkan) dan pada analisis produksi, diperoleh informasi bahwa beberapa genotipe memiliki bobot umbi per tanaman relatif tinggi dibandingkan tetuanya (4.70 kg per tanaman). Empat genotipe memiliki potensi menghasilkan umbi >6 kg (Gambar 1), sehingga potensi produksi umbinya adalah ± 50 ton ha^{-1} (asumsi populasi tanaman per hektar (ha) 8000 tanaman). Genotipe G2111 memiliki potensi menghasilkan umbi per tanaman mencapai 7.2 kg (Tabel 2), sehingga potensi umbi yang dihasilkan dari genotipe tersebut mencapai ± 60 ton ha^{-1} . Pengamatan kimera dilakukan pada karakter kualitatif, namun pada populasi M_1V_4 tidak teramati adanya kimera (data tidak ditampilkan).

Berdasarkan hasil analisis sidik ragam (Tabel 1), genotipe berbeda nyata pada beberapa karakter yang terkait dengan kandungan pati. Penghitungan kandungan pati

diawali dengan penghitungan nilai SG, yang menentukan total padatan pada umbi. Nilai SG pada penelitian ini lebih dari satu (Tabel 2), yang menunjukkan bahwa kerapatan jenis umbi lebih rapat dibandingkan kerapatan jenis air (Waluyo *et al.*, 2015), karena kerapatan jenis air adalah 1 kg m^{-3} . Nilai SG dikelompokkan menjadi tiga kategori, yaitu rendah (<1.077), antara (1.077-1.086), dan tinggi (>1.086) (Fitzpatrick *et al.*, 1969).

Hasil uji lanjut (Tabel 2) menunjukkan bahwa keragaan karakter yang diamati sangat luas. Nilai rata-rata tertinggi untuk bobot umbi adalah 7.2 kg pada genotipe G3111, dan rata-rata terendah adalah 2.78 kg pada genotipe G1144. Bobot umbi ini menentukan banyaknya umbi yang digunakan untuk pengukuran kandungan pati, semakin besar bobot umbi yang diperoleh per tanaman maka bobot umbi yang digunakan untuk pengukuran kandungan pati semakin besar. Bobot umbi di udara rata-rata tertinggi adalah 5.25 kg pada genotipe G1143, sedangkan rata-rata terendah adalah 2.05 kg pada genotipe G1153. Bobot umbi di air rata-rata tertinggi adalah 0.58 kg pada genotipe G2112, sedangkan rata-rata terendah berturut-turut adalah 0.18 kg dan 0.19 kg pada genotipe G1144 dan G3141. Rata-rata karakter kandungan pati tertinggi adalah 23.86% pada genotipe G2112, sedangkan terendah adalah 12.60% pada genotipe G3154. Penelitian mengenai kandungan pati sudah pernah dilakukan sebelumnya, dan menghasilkan estimasi kandungan pati yang beragam bergantung pada genotipe, metode, umur panen umbi, lokasi penanaman dan musim tanam (Baafi dan Safo-Kantanka, 2007; Sanchez *et al.*, 2009; Rolland-Sabate *et al.*, 2011; Nurdjanah *et al.*, 2007; Mtunguja *et al.*, 2015; Mohammed, 2016; Subekti *et al.*, 2017). Anggraini *et al.* (2009) dan Rahmiati *et al.* (2016) menyampaikan bahwa genotipe yang berbeda akan mempengaruhi karakteristik sifat fisikokimia umbi yang dihasilkan, termasuk kandungan pati dan karakteristik pati yang dihasilkan (ukuran butir pati, suhu pengentalan, kandungan fosfat). Penelitian Shin *et al.* (2011) pada ubi



Gambar 1. Pengelompokan genotipe ubi kayu asal Gajah berdasarkan bobot umbi segar per tanaman dan estimasi kandungan pati

Tabel 1. Rekapitulasi hasil analisis ragam karakter kuantitatif umbi beberapa genotipe ubi kayu generasi M_1V_4 asal Gajah

	KT genotipe	KT blok	KT galat
Bobot umbi per tanaman (kg)	2.996*	12.354	1.238
Bobot umbi di udara (kg)	1.499*	3.449	0.764
Bobot umbi di air (kg)	0.022*	0.215	0.012
Estimasi kandungan pati (%)	10.810*	110.490	6.430

Keterangan: * = berbeda nyata pada taraf 1 dan 5%; tn = tidak berbeda nyata

jalar dengan perlakuan iradiasi sinar gamma menunjukkan tanaman mutan mampu menghasilkan kandungan pati yang lebih tinggi dibandingkan genotipe asal atau tetuanya. Saithong *et al.* (2013) melaporkan bahwa tanaman mutan hasil iradiasi sinar gamma mengalami perubahan dalam potensinya menghasilkan pati, karena diduga sinar gamma mempengaruhi susunan nukleotida dari gen tanaman, sehingga mempengaruhi siklus biosintesis pati, yaitu siklus calvin, sintesis sukrosa, dan penyimpanan pati, dan perubahan yang terjadi dapat ke arah positif (kandungan pati meningkat) maupun negatif (kandungan pati menurun).

Berdasarkan nilai estimasi kandungan pati, diperoleh informasi bahwa genotipe mutan G2112 mampu menghasilkan kandungan pati yang lebih tinggi dibandingkan genotipe tetua dan paling tinggi dibanding mutan yang lain. Genotipe G2112 diduga mengalami mutasi maju (*forward mutation*), yaitu mutasi yang menghasilkan mutan baru dengan karakter yang semakin menjauhi karakter tanaman asalnya (Aisyah *et al.*, 2009).

Pengelompokan genotipe menggunakan *scatterplot* dilakukan untuk memperoleh informasi genotipe-genotipe yang memiliki bobot umbi dan kandungan pati tinggi. Hasil *scatterplot* menunjukkan bahwa tidak terdapat genotipe yang mengisi kuadran satu, sedangkan kuadran dua hanya berisi satu genotipe yaitu G2112 (Gambar 1). Genotipe G2112 memiliki kandungan pati tertinggi yaitu 23.86%, namun memiliki bobot umbi per tanaman 5.3 kg, sehingga potensi umbinya adalah ± 42.40 ton ha⁻¹ dengan estimasi pati yang dapat dihasilkan sebesar 10.12 ton ha⁻¹. Kuadran empat berisi informasi genotipe dengan bobot umbi >6 kg, yaitu pada genotipe G2142, G3151, G2141, G1143, dan G3111, namun hanya satu genotipe yang memiliki estimasi kandungan pati cukup tinggi yaitu G3111. Potensi genotipe G3111 untuk menghasilkan umbi adalah ± 57.60 ton ha⁻¹ dengan estimasi pati yang dihasilkan sebesar 10.50 ton ha⁻¹. Maharani *et al.* (2015) melakukan iradiasi sinar gamma pada beberapa genotipe ubi kayu, dan diperoleh mutan dengan bobot umbi per tanaman lebih dari 10 kg. Perbedaan potensi dalam menghasilkan umbi diduga karena pengaruh iradiasi yang bersifat acak, sehingga perubahan fisiologi antar tanaman berbeda.

Analisis hubungan atau korelasi dilakukan untuk mengetahui karakter yang mempengaruhi kandungan pati suatu genotipe. Karakter yang berkorelasi positif dengan

estimasi kandungan pati adalah bobot umbi di air dengan nilai korelasi 0.697 dan SG dengan nilai korelasi 0.949. Nilai korelasi yang semakin tinggi atau mendekati satu menunjukkan semakin eratnya hubungan antar karakter, hal ini menunjukkan SG berpengaruh lebih besar terhadap kandungan pati dibanding bobot umbi di air. Semakin besar nilai SG maka kandungan pati semakin tinggi, korelasi yang sama juga diperoleh pada ubi jalar (Waluyo *et al.*, 2015) dan kentang (Mohammed, 2016). Namun demikian, dari informasi bobot umbi di dalam air ketika penimbangan umbi di lapang, dapat diduga genotipe yang memiliki kandungan pati tinggi, sehingga dapat secara cepat dipilih genotipe dengan kandungan pati tinggi. Regresi linier antara nilai SG dengan estimasi kandungan pati menghasilkan nilai korelasi (r) sebesar 0.905. Nilai tersebut mendekati satu, yang menunjukkan bahwa nilai SG berpengaruh besar terhadap estimasi kandungan pati, yaitu sebesar 90.5%, sedangkan sisanya adalah pengaruh dari variabel yang lain.

Heritabilitas merupakan hubungan antara ragam genotipe dengan lingkungan, yang menggambarkan seberapa jauh fenotipe yang tampak sebagai refleksi dari genotipe (Sobir dan Syukur, 2015). Nilai heritabilitas dihitung untuk mengetahui potensi karakter diturunkan pada generasi selanjutnya. Empat karakter yang diujikan (Tabel 3) menunjukkan bahwa karakter bobot umbi dan bobot umbi di udara mempunyai heritabilitas arti luas (h^2bs) tinggi, sedangkan karakter bobot umbi di air dan estimasi kandungan pati memiliki h^2bs yang sedang. Visscher *et al.* (2008) menyatakan, bahwa karakter yang memiliki nilai h^2bs tinggi berarti faktor genetik berpengaruh lebih besar dibandingkan dengan faktor lingkungan dan sifat-sifat genetik dari genotipe tersebut dapat diturunkan pada generasi selanjutnya, sehingga dapat dilakukan seleksi berdasarkan peubah tersebut. Dengan demikian, karakter kandungan pati yang dicari menggunakan metode pendugaan pati gravimetri, tidak dapat digunakan untuk kriteria seleksi pada genotipe dengan potensi kandungan pati tinggi, karena memiliki nilai h^2bs yang sedang, dimana pengaruh lingkungan lebih besar dibandingkan pengaruh genetik. Jika nilai kandungan pati akan digunakan sebagai karakter seleksi, maka pengukuran kandungan pati harus dilakukan menggunakan analisis pati di laboratorium, sehingga nilai kandungan pati yang diperoleh bukan merupakan pendugaan.

Tabel 2. Keragaan karakter kuantitatif umbi beberapa genotipe ubi kayu generasi M_1V_4 asal Gajah

Genotipe	Bobot umbi per tanaman (kg)	Komponen penghitungan gravimetri		Nilai <i>specific gravity</i> (SG)	Estimasi kandungan pati (%)
		Bobot umbi di udara (kg)	Bobot umbi di air (kg)		
Gajah	4.72b-h	3.80a-h	0.37a-f	1.105	17.65b-d
G1121	3.96d-h	3.31c-h	0.33b-f	1.107	17.74b-d
G1122	5.89a-d	4.54a-d	0.47a-c	1.111	18.31bc
G1124	5.30a-g	4.28a-e	0.41a-e	1.106	17.37b-d
G1141	4.45b-h	3.53a-h	0.29c-f	1.089	15.32b-d
G1142	5.46a-e	4.46a-d	0.39a-f	1.095	16.60b-d
G1143	6.46ab	5.25a	0.46a-c	1.092	15.96b-d
G1144	2.78h	2.36gh	0.18f	1.093	15.85b-d
G1151	4.38b-h	3.64a-h	0.37a-f	1.112	18.24bc
G1153	3.28e-h	2.05h	0.20ef	1.115	18.77bc
G1154	4.55b-h	3.91a-g	0.30c-f	1.083	15.12b-d
G1155	4.53b-h	3.54a-h	0.35b-f	1.106	17.78b-d
G2111	4.43b-h	3.44b-h	0.35b-f	1.112	18.37bc
G2112	5.33a-f	3.98a-g	0.58a	1.166	23.86a
G2113	4.44b-h	3.85a-g	0.36b-f	1.099	16.68b-d
G2115	5.30a-g	4.15a-f	0.43a-d	1.115	18.46bc
G2132	3.46e-h	2.79d-h	0.30c-f	1.132	19.51b
G2133	3.03gh	2.37f-h	0.21d-f	1.120	16.15b-d
G2141	6.39ab	4.91a-c	0.44a-c	1.098	16.77b-d
G2142	6.20a-d	4.53a-d	0.34b-f	1.084	14.96b-d
G2144	4.68b-h	4.18a-e	0.39a-f	1.102	17.28b-d
G2152	4.32b-h	3.36b-h	0.28c-f	1.086	15.61b-d
G2153	5.96a-d	4.20a-e	0.29c-f	1.070	14.39b-d
G2154	4.35b-h	3.10d-h	0.25c-f	1.083	15.32b-d
G3111	7.20a	5.12ab	0.53ab	1.112	18.24bc
G3113	4.20b-h	3.31c-h	0.32b-f	1.105	17.76b-d
G3114	4.10c-h	3.78a-h	0.36b-f	1.107	17.58b-d
G3115	3.16f-h	3.05d-h	0.30c-f	1.107	17.88bc
G3121	4.10c-h	3.48a-h	0.36b-f	1.118	18.37bc
G3122	4.50b-h	3.58a-h	0.35b-f	1.107	17.55b-d
G3124	4.98b-h	3.62a-h	0.29c-f	1.087	15.31b-d
G3125	4.64b-h	3.50a-h	0.33b-f	1.097	16.79b-d
G3131	4.09c-h	3.19c-h	0.32b-f	1.121	18.25bc
G3141	3.10f-h	2.50e-h	0.19f	1.085	13.66cd
G3142	5.53a-e	3.76a-h	0.27c-f	1.076	14.39b-d
G3143	4.82b-h	3.66a-h	0.35b-f	1.104	17.41b-d
G3144	4.73b-h	4.00a-g	0.35b-f	1.091	16.19b-d
G3151	6.27a-c	4.15a-f	0.36b-f	1.094	16.07b-d
G3152	4.43b-h	4.31a-d	0.35b-f	1.090	16.03b-d
G3153	4.24b-h	3.87a-g	0.32b-f	1.090	15.52b-d
G3154	4.88b-h	3.48a-h	0.21d-f	1.062	12.60d

Keterangan: Angka pada setiap kolom karakter yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji selang berganda Duncan pada taraf uji 5 %

Tabel 3. Nilai duga heritabilitas arti luas (h^2bs) karakter kuantitatif umbi ubi kayu generasi M_1V_4

Karakter	σ^2e	σ^2g	σ^2p	h^2bs	Kriteria
Bobot umbi per tanaman (kg)	0.413	0.611	1.024	59.689	Tinggi
Bobot umbi di udara (kg)	0.255	0.258	0.512	50.284	Tinggi
Bobot umbi di air (kg)	0.004	0.004	0.007	47.149	Sedang
Estimasi kandungan pati (gravimetri)	2.143	1.536	3.680	41.751	Sedang

Keterangan: σ^2e = ragam lingkungan; σ^2g = ragam genetik; σ^2p = ragam fenotipe; h^2bs = heritabilitas arti luas (%)

KESIMPULAN

Genotipe mutan memiliki potensi yang berbeda dalam menghasilkan pati. Kandungan pati tertinggi sebesar 23.86% pada genotipe G2112, dan terkecil sebesar 12.60% pada genotipe G3154. Karakter yang berpengaruh langsung terhadap kandungan pati suatu genotipe adalah bobot umbi di air dan nilai *specific gravity*. Kandungan pati yang diukur menggunakan metode gravimetri memiliki h^2bs kriteria sedang, menunjukkan pengaruh lingkungan lebih besar dibanding pengaruh genetik, sehingga tidak dapat digunakan sebagai karakter seleksi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi untuk Dana Riset Skema KLN PI dan Penelitian Berbasis Kompetensi atas nama Dr. Nurul Khumaida dan Tim.

DAFTAR PUSTAKA

- Aisyah, S.I., H. Aswidinnoor, A. Saefuddin, B. Marwoto, S. Sastrosumarjo. 2009. Induksi mutasi pada stek pucuk anyelir (*Dianthus caryophyllus* Linn.) melalui iradiasi sinar gamma. *J. Agron. Indonesia* 37:62-70.
- Alcazar-Alay, S.C., M.A.A. Meireles. 2015. Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. *Food Sci. Technol.* 35:215-236.
- Angraini, V., E. Sudarmonowati, N.S. Hartati, L. Suurs, R.G.F. Visser. 2009. Characterization of cassava starch attributes of different genotypes. *Starch/Starke* 61:472-481.
- Baafi, E., O. Safo-Kantanka. 2007. Effect of genotype, age, and location on cassava starch yield and quality. *J. Agron.* 6:581-585.
- Ceballos, H., T. Sanchez, K. Denyer, A.P. Tofindo, E.A. Rosero, D. Dufour, A. Smith, N. Morante, J.C. Perez, B. Fahy. 2008. Induction and identification of a small-granule, high-amylose mutant in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *J. Agric. Food Chem.* 56:7215-7222.
- Department of Environment and Primary Industries. 2010. Potatoes: Measurement of specific gravity. <http://agriculture.vic.gov.au> [1 Agustus 2017].
- Fitzpatrick, J.J., W.L. Porter, V.C. Houghland. 1969. Continued studies of the relationship of specific gravity to total solids of potato. *American Potato J.* 46:120-127.
- Karlstrom A, F. Calle, S. Salazar, N. Morante, D. Dufour, H. Ceballos. 2016. Biological implications in cassava for the production of amylose-free starch: impact on root yield and related traits. *Front. Plant Sci.* 7:604.
- Kawano, K., W.M.G. Fukuda, U. Cenpukdee. 1987. Genetic and environmental effect on dry matter content of cassava root. *Crop Sci.* 27:69-74.
- Keeling, P.L., A.M. Myers. 2010. Biochemistry and genetics of starch synthesis. *Annu. Rev. Food Sci. Technol.* 1:271-303.
- Kementerian Perindustrian. 2017. Ekspor- Impor Pati. <http://www.kemenperin.go.id> [17 Juli 2017].
- Li, Y.Z., J.Y. Zhao, S.M. Wu, X.W. Fan, X.L. Luo, B.S. Chen. 2016. Characters related to higher starch accumulation in cassava storage roots. *Sci. Report* 6:1-17.
- Maharani, S., N. Khumaida, M. Syukur, S.W. Ardie. 2015. Radiosensitivitas dan keragaman ubi kayu (*Manihot esculenta* Crantz.) hasil iradiasi sinar gamma. *J. Agron. Indonesia* 43:111-117.
- Mohammed, W. 2016. Specific gravity, dry matter content, and starch content of potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties cultivated in Eastern Ethiopia. *East African J. Sci.* 10:87-102.
- Moreno, P., S. Gourdji. 2015. Cassava Starch Content and Its Relationship With Rainfall. CCAFS Info Note. Copenhagen, Denmark: CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS).

- Mtunguja, M.K., H.S. Laswai, E. Kanju, J. Ndunguru, Y.C. Muzanilla. 2015. Effect of genotype and genotype by environment interaction on total cyanide content, fresh root, and starch yield in farmer-preferred cassava landraces in Tanzania. *Food Sci. Nutr.* 4:791-801.
- Nurdjanah, S., Susilawati, M.R. Sabatini. 2007. Prediksi kadar pati ubi kayu (*Manihot esculenta*) pada berbagai umur panen menggunakan penetrometer. *J. Tekno. Industri Hasil Pertanian* 12:65-73.
- Rahmiati, T.M., Y.A. Purwanto, S. Budijanto, N. Khumaida. 2016. Sifat fisikokimia tepung dari 10 genotipe ubi kayu (*Manihot esculenta* Crantz) hasil pemuliaan. *Agritech* 36:459-466.
- Rolland-Sabate, A., T. Sanchez, A. Buleon, P. Colonna, B. Jaillais, H. Ceballos, D. Dufour. 2011. Structural characterization of novel cassava starches with low and high-amylose contents in comparison with other commercial sources. *Food Hydrocolloids* 27:161-174.
- Saithong, T., O. Rongsirikul, S. Kalapanulak, P. Chiewchankaset, W. Siriwat, S. Netphan, M. Suksangpanomrung, A. Meechai, S. Cheevadhanarak. 2013. Starch biosynthesis in cassava: a genome-based pathway reconstruction and its exploitation in data integration. *BMS Sys. Biol.* 2:75-87.
- Sanchez, T., E. Salcedo, H. Ceballos, D. Dufour, G. Mafia, N. Morante, F. Calle, J.C. Perez, D. Debouck, G. Jaramillo, I.X. Moreno. 2009. Screening of starch quality traits in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Intl. J. of the Investigation, Processing and Use of Carbohydrates and Their Derivates* 61:12-19.
- Shin, J.M., B.K. Kim, S.G. Seo, S.B. Jeon, J.S. Kim, B.K. Jun, S.Y. Kang, J.S. Lee, M.N. Chung, S.H. Kim. 2011. Mutation breeding of sweet potato by gamma-ray radiation. *Afr. J. Agric. Res.* 6:1447-1454.
- Sobir, M. Syukur. 2015. *Genetika Tanaman*. IPB Press, Bogor (INA).
- Subekti, I., N. Khumaida, S.W. Ardie. 2017. Identification of potentially high yielding irradiated cassava 'Gajah' genotype with different geographic coordinates. *IOP Conf. Series: Earth Env. Sci.* 54:1-7.
- Van Niekerk, C., H.C. Schonfeldt, N. Hall, B. Pretorius. 2016. The reliability of dry matter, specific gravity, starch and glycaemic index to classify potatoes. *Intl. J. Agric. Env. Res.* 2:1420-1437.
- Visscher, P.M., W.G. Hill, N.R. Wray. 2008. Heritability in the genomics era concepts and misconceptions. *Nature Rev.* 9:255-266.
- Waluyo, B., C.U. Zanetta, A.A. Roosda, G.D. Hazbi, A. Kurniawan. 2015. Penentuan kandungan pati dan bahan kering non destruktif pada ubi jalar dengan pendekatan metode specific gravity. Hal. 293-299. Dalam N. Carsono, O. Mulyani (Eds.). *Prosiding Tantangan, Peluang dan Arah Pengembangan*. Bandung 3-4 September 2015.
- Waterschoot, J., S.V. Gomand, E. Fierens, J.A. Delcour. 2015. Production, structure, physicochemical and functional properties of maize, cassava, wheat, potato and rice starches. *Starch-Starke* 67:14-29.
- Zhao, S., D. Dufour, T. Sanchez, H. Ceballos, P. Zhang. 2011. Development of waxy cassava with different biological and physico-chemical characteristics of starches for industrial applications. *Biotech. Bioengineering* 108:1925-1935.