Bul. Plasma Nutfah 24(2):125–134

Karakterisasi Kadar Antosianin Varietas Lokal Padi Warna Sebagai SDG Pangan Fungsional

(Anthocyanin Content Characterization on Pigmented Local Rice as Genetic Resources of Functional Food)

Kristina Dwiatmini* dan Higa Afza

Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Sumber Daya Genetik Pertanian. Jl. Tentara Pelajar 3A, Bogor 16111, Indonesia
Telp. (0251) 8337975; Faks. (0251) 8338820
*E-mail: atmini_kd@ymail.com

Diajukan: 24 Januari 2018; Direvisi: 21 Desember 2018; Diterima: 26 Desember 2018

ABSTRACT

Local varieties of pigmented rice are highly valuable genetic resources as a functional food in the future. Pigmented rice contains anthocyanins which function as nutrient bioactive components, called antioxidants. The aim of this research was to characterize anthocyanin content on 27 accessions of pigmented local rice, 2 varieties of released red rice varieties (Aek Sibundong and Inpari 24), and 1 control varieties of white rice, Ciherang. The content of anthocyanin was analyzed by using High Performance Liquid Chromatography (HPLC) with cyanidin-3-glucoside as a standard. The results showed that local rice Aen Metan and Melik had the highest anthocyanin content were reached 0.7953 mg/g and 0.7806 mg/g. These content were higher than 2 released red rice varieties, Aek Sibundong and Inpari 24 which had anthocyanin content reached 0.6496 mg/g and 0.4423 mg/g, respectively. Aen Metan and Melik were local black rice varieties and frequently have used as a parent in the breeding program. The white rice as control, Ciherang was showed the lowest anthocyanin content. Four pigmented local rice, Baliman Putih, Sari Kuning, Karamanting, and Iden had higher anthocyanin content than the two released red rice breeding varieties.

Keywords: Pigmented local rice, anthocyanin, functional rice, and HPLC.

ABSTRAK

Varietas lokal padi warna merupakan plasma nutfah berharga yang dapat berperan sebagai pangan fungsional di masa depan. Padi warna memiliki kandungan antosianin yang berfungsi sebagai komponen nutrien bioaktif, yang dinamakan antioksidan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengarakterisasi kadar antosianin 27 aksesi varietas lokal padi warna Indonesia dan 2 varietas unggul padi merah hasil pemuliaan (Aek Sibundong dan Inpari 24), serta 1 varietas padi beras putih (Ciherang) sebagai kontrol. Analisis dilakukan dengan metode *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC), menggunakan standar sianidin-3-glukosida. Hasil analisis laboratorium, varietas Aen Metan dan Melik mengandung bahan aktif antosianin tertinggi, yaitu 0,7953 mg/g dan 0,7806 mg/g. Kedua varietas lokal ini merupakan padi hitam yang sering digunakan sebagai tetua dalam persilangan. Aek Sibundong dan Inpari 24 memiliki kadar antosianin sebesar 0,6496 mg/g dan 0,4423 mg/g, secara berturut-turut. Kandungan antosianin terendah terdapat pada varietas Ciherang yang merupakan varietas unggul padi beras putih. Empat varietas lokal padi beras merah yaitu Baliman Putih, Sari Kuning, Karamanting, dan Iden memiliki kandungan antosianin yang lebih tinggi daripada padi varietas unggul beras merah hasil pemuliaan.

Kata kunci: Padi lokal warna, antosianin, padi fungsional, dan HPLC.

Hak Cipta © 2018, BB Biogen

PENDAHULUAN

Varietas lokal padi warna merupakan sumber daya genetik (SDG) berharga, yang ditemukan tersebar di berbagai daerah di Indonesia. Meskipun pada saat ini budi daya dan konsumsi padi warna belum begitu tinggi, namun ditengarai varietas lokal padi warna akan berperan penting sebagai pangan fungsional di masa yang akan datang. Pangan fungsional dikenal sebagai pangan yang memiliki kandungan komponen aktif yang bermanfaat bagi kesehatan, selain manfaat yang diberikan oleh zat-zat gizi yang terkandung di dalamnya. Padi warna termasuk salah satu pangan fungsional karena memiliki kandungan antosianin yang berfungsi sebagai antioksidan, yaitu komponen nutrien bioaktif yang bermanfaat bagi kesehatan. Padi warna dikenal sebagai sumber senyawa antioksidan termasuk flavonoid, antosianin, asam fitat, proantosianidin, tokoferol, tokotrienol, *γ-oryzanol*, dan senyawa fenolik (Goufo dan Trindade 2014).

Penelitian padi beras merah di Indonesia saat ini belum menjadi prioritas. Penelitian yang lebih intensif terhadap mutu padi beras merah diharapkan dapat memberikan sumbangan nyata terhadap ketahanan pangan dan perbaikan kualitas sumber daya manusia (Suardi 2005). Para ilmuwan berpendapat bahwa beras merah lebih dari sekedar makanan yang mengandung karbohidrat. Beras merah juga mengandung antioksidan yang bermanfaat bagi kesehatan. Saat ini kandungan beras merah untuk kebutuhan gizi dan obat terus dikembangkan, karena mengandung antioksidan dan mineral penting lainnya (Itani dan Ogawa 2004).

BB Biogen merupakan instansi nasional yang memiliki mandat dalam pengumpulan aksesi tanaman secara terpusat dan pengelolaan plasma nutfah padi di Indonesia. Koleksi sumber daya genetik di bank gen Balitbangtan yang bertempat di BB Biogen terdiri atas varietas lokal, varietas unggul, galur-galur elit, dan introduksi. Koleksi ini berupa padi sawah, padi gogo, rawa, dan padi pasang surut yang dikumpulkan dari seluruh provinsi di Indonesia (Silitonga dan Risliawati 2011).

Hasil penelitian menyebutkan manfaat gizi dari beras warna yang disebabkan adanya kandungan komponen nutrien bioaktif termasuk di antaranya adalah serat makanan dan senyawa antioksidan (Goufo dan Trindade 2017). Antosianin pada beras warna mengandung *acetylated procyanidins*, yang dilaporkan memiliki aktivitas radikal bebas (Oki et al. 2002). Radikal bebas memainkan peran penting dalam tubuh kita, yang dihasilkan oleh sistem endogen akibat adanya paparan kondisi bahan kimia atau keadaan patologik (Lobo et al. 2010). Antosianin bermanfaat bagi kesehatan karena berperan juga sebagai anti inflamasi (Luo et al. 2014; Cassidy et al. 2015).

Antosianin adalah kelompok pigmen yang menyebabkan warna kemerah-merahan, letaknya di dalam cairan sel yang bersifat larut dalam air. Komponen antosianin ubi jalar ungu adalah turunan mono atau diasetil 3-(2-glukosil) glukosil-5-glukosil peonidin dan sianidin. Senyawa antosianin berfungsi sebagai antioksidan dan penangkap radikal bebas, sehingga berperan untuk mencegah terjadi penuaan, kanker, dan penyakit degeneratif. Antosianin merupakan glikosida yang larut dalam air dan merupakan *acyl glycosides* dari antosianidin buah-buahan, sayuran, dan biji-bijian sereal. Senyawa-senyawa ini ditemukan dalam bentuk polihidrosilat atau *heterosides methoxylated*, yang berasal dari ion flavylium atau *2-phenyl benzopyrilium* (Castañeda-Ovando et al. 2009). Terdapat beberapa cara yang digunakan untuk mengekstraksi antosianin dimana cara tersebut juga mempengaruhi hasil antosianin. Setelah dilakukan ekstraksi, kemudian dilakukan analisis hasil ekstraksi dengan menggunakan metode yang berbeda pula. Menurut Li et al. (2013), stabilitas antosianin tergantung pada faktor suhu, pH, dan matriks pelarut.

Antioksidan pada padi mempengaruhi proses reduksi sel hewan dan plasma manusia, yang dapat memberikan perlindungan terhadap penyakit kronis yang berhubungan dengan tekanan oksidasi atau berpotensi mengurangi beban penyakit ini (Goufo dan Trindade 2017). Jika komponen radikal bebas melebihi batas kapasitas pemulihan sel, maka komponen radikal bebas yang berlebihan dapat bereaksi dengan makromolekul biologi, seperti protein, lipid, dan DNA, dan menghasilkan kerusakan oksidatif. Kerusakan oksidatif memainkan

peran penting di belakang banyak penyakit, seperti kanker, aterosklerosis, dan diabetes (Cordero et al. 2010; Lazarou et al. 2012; Fardet dan Chardigny 2013; Huang et al. 2013; Landete 2013; Trigueros et al. 2013; Chen et al. 2014; Marrazzo et al. 2014).

Penelitian ini bertujuan untuk mengarakterisasi kadar antosianin menggunakan metode HPLC pada 27 aksesi varietas lokal padi warna Indonesia, 2 varietas padi merah hasil pemuliaan, yaitu Aek Sibundong dan Inpari 24, serta 1 varietas padi beras putih, Ciherang sebagai kontrol.

BAHAN DAN METODE

Penelitian terdiri atas empat tahap: (1) Pemanenan padi hasil rejuvenasi pada bulan Mei-Agustus 2016 yang ditanam di BB Padi Sukamandi, (2) Pengeringan dan prosesing di rumah kaca pengeringan BB Biogen, Bogor pada bulan September 2016, (3) Proses pengupasan kulit sekam menggunakan alat serutan sederhana dan penepungan dengan *blender* pada bulan September 2016 di BB Biogen, Bogor, dan (4) Proses analisis kadar antosianin pada bulan Oktober 2016 di Laboraturium Residu Bahan Agroklimat, Bogor.

Bahan

Bahan yang digunakan untuk analisis kandungan antosianin adalah 30 aksesi padi yang terdiri atas: padi hitam, padi merah, dan padi putih (Ciherang) sebagai kontrol (Tabel 1)

Metode

Pengujian total antosianin dilakukan menggunakan HPLC (Li et al. 2013), yaitu menggunakan HPLC-*Diode Array Detection* (DAD) yang disambungkan dengan *Mass Spectrometry* (MS).

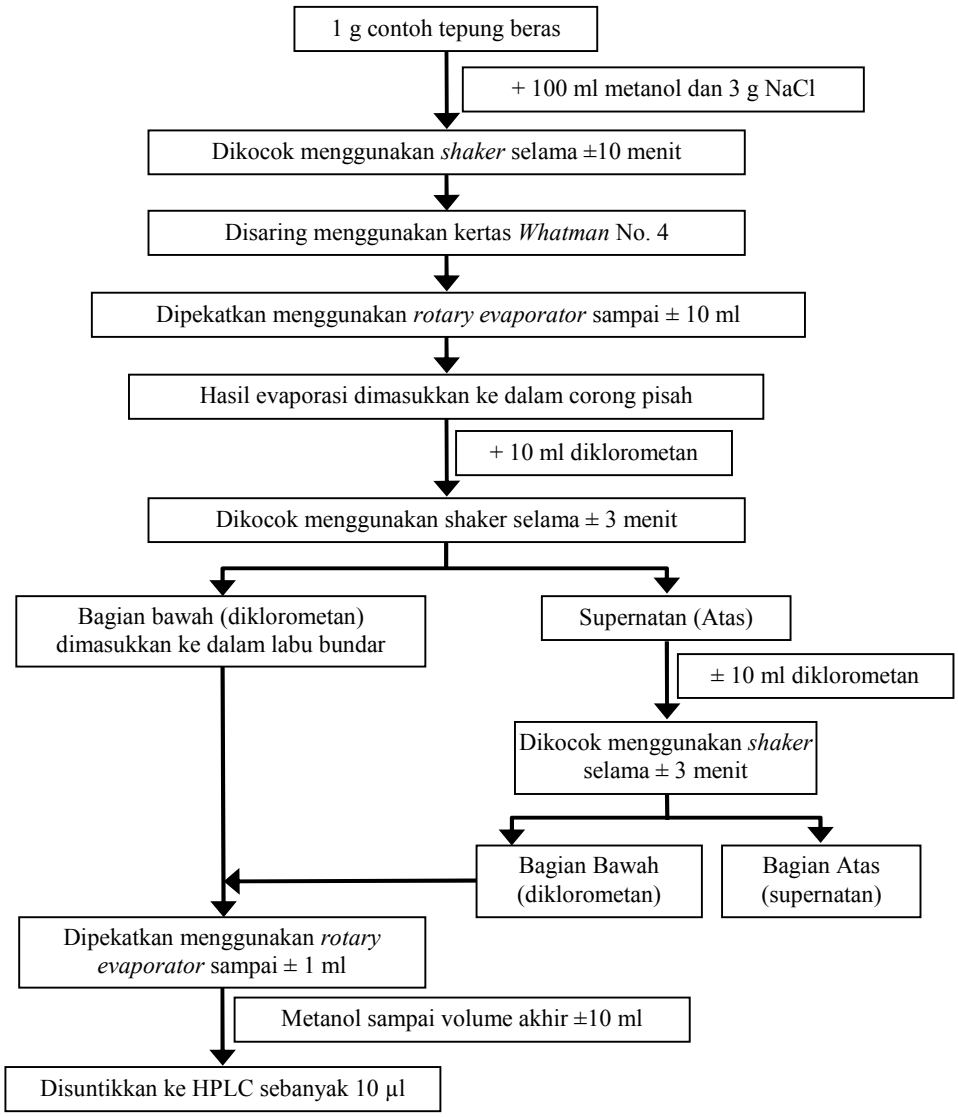
Tabel 1. Daftar varietas padi lokal beras hitam, beras merah, dan varietas kontrol.

Nomor aksesi	Nama varietas	Keterangan	Tahun Koleksi	Asal
05020-04305	Baliman Putih	Merah pekat	2011	Kalimantan Selatan
05020-05330	Sari Kuning	Merah pekat	2012	Jawa Barat
05020-04286	Karamanting	Merah pekat	2012	Kalimantan Tengah
05020-07254	Iden	Merah pekat	1972	Sulawesi Utara
*	Aek Sibundong	Merah pekat		
05020-19114	KNI.B.361.8.6.9.4.7	Merah pekat	2014	
05020-04310	Bidui	Merah pekat	2011	Kalimantan Selatan
05020-21425	Padi Kelay	Merah pekat	2012	Kalimantan Timur
05020-05624	Balap Putih	Merah pekat	1972	Jawa Barat
05020-05821	Badigul	Merah	1972	Jawa Barat
05020-04361	Palu Palaa	Merah	2011	Sulawesi Selatan
05020-20801	Siredep	Merah		Sumatra Utara
05020-19112	KNI.B.361.Blk.13.6	Merah	2014	Jawa Barat
05020-04325	Raden Rata	Merah	2011	Kalimantan Selatan
05020-08021	Sitopas	Merah	1973	Sumatra Utara
05020-06447	Lakatan Aban	Merah	1972	Kalimantan Selatan
05020-05377	Fadjar	Merah	2012	Jawa Barat
05020-04324	Siam Parupuk	Merah	2011	Kalimantan Selatan
05020-06202	Aceh-aceh	Merah	1972	Riau
05020-06371	Silimut Sare	Merah	1972	Riau
05020-05306	Ribon	Merah	1976	
*	Inpari 24	Merah		
05020-20299	Sigempai	Merah		Nangroe Aceh Darussalam
05020-07752	Ketan Nyampah	Merah	1972	Lampung
05020-05462	Cempo Pateng	Merah	2012	Jawa Barat
05020-04311	Randah Pala	Merah	2011	Kalimantan Selatan
05020-06517	Aen Tinuan	Merah	1972	NTT
*	Aen Metan	Hitam		
05020-05179	Melik	Hitam		Yogyakarta
05020-21151	Ciherang	Putih	2015	Jawa Barat

*sedang dalam proses akuisisi.

Fase gerak yang digunakan adalah asam format 5% pada air (fase A) dan asam format 5% pada air/asetonitril (1:1 v/v; fase B). Gradien yang digunakan adalah 20–50% B selama 3 menit, 50% B selama 5 menit, 50–20% B selama 5 menit, dan tahap akhirnya dicuci dengan 20% B selama 10 menit. Analisis dilakukan pada tingkat aliran 1 ml/menit dengan panjang gelombang deteksi 250–600 nm. Panjang gelombang yang disukai adalah 525 nm. Suhu kolom diatur pada 30°C, dan volume injeksi 10 µl. Spectra MS direkam pada mode ion positif antara m/z 200 dan 1.200. Parameter MS terbesar meliputi tegangan kapiler 3000 V, kapiler keluar 132,3 V, suhu gas pengeringan 325°C, aliran gas 10 l/menit, dan tekanan nebulizer 40 psi.

Metode yang digunakan dalam analisis antosianin adalah menggunakan alat *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC), dengan menggunakan standar sianidin-3-glukosida. Analisis antosianin dilaksanakan di Laboraturium Residu Bahan Agroklimat di Ciomas, Bogor. Bagan ekstraksi analisis antosianin seperti digambarkan pada Gambar 1. Alat HPLC yang digunakan adalah merek Shimadzu 20A, *Diode Array Detector*, Kolom C18 Dim. (mm) 150 × 4,6), panjang gelombang 270 nm, fase gerak metanol, dan laju alir 0,5 ml/menit.



Gambar 1. Bagan ekstraksi analisis antosianin pada contoh tepung beras (Daiponmak et al. 2010).

Kandungan antosianin dihitung berdasarkan Gardana et al. (2014) dengan rumus:

$$C = \frac{A \times MW \times DF \times V}{\varepsilon \times L \times Wt} \times 1.000$$

dimana, C = kandungan antosianin (g/kg), ε = koefisien ekstingsi sianidin-3-glukosida (26.900 l/cm/mol), L = lebar kuvet (1 cm), MW = bobot molekul sianida 3-glukosida (0,445 kg/mol), DF = faktor pengenceran, Wt = bobot sampel (g).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis kandungan antosianin pada 30 aksesi padi ditampilkan pada Tabel 1. Berdasarkan Tabel 1 diketahui bahwa Aen Metan dan Melik mengandung bahan aktif antosianin tertinggi. Kedua varietas unggul tersebut merupakan padi hitam yang telah banyak digunakan sebagai tetua persilangan dalam program perakitan galur padi fungsional. Varietas unggul Ciherang yang merupakan padi beras putih sebagai kontrol memiliki kandungan antosianin yang terendah. Aek Sibundong (0,6496) dan Inpari 24 (0,4423) merupakan padi unggul warna hasil pemuliaan.

Varietas lokal Aen Metan merupakan padi hitam yang memiliki kadar antosianin tertinggi diantara 30 sampel padi yang diuji. Bagian luar biji beras atau kulit ari dari kernel padi ini berwarna hitam diketahui berasal dari pigmen yang dikenal sebagai antosianin, sejenis antioksidan. Antosianin terdapat pada lapisan *aleuron* padi hitam. Padi hitam memiliki variasi warna yang juga dikenal sebagai beras ungu (Kushwaha 2016).

Padi hitam memiliki variasi kandungan nutrisi yang paling tinggi dibandingkan dengan

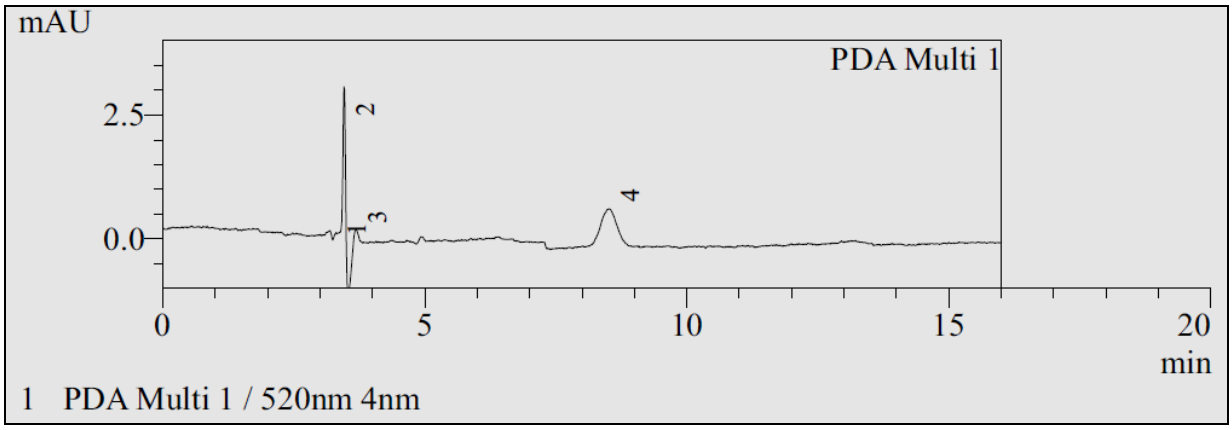
Tabel 2. Kandungan sianidin-3-glukosida (bahan aktif antosianin) pada 30 aksesi padi.

No. aksesi di Bank Gen Balitbangtan	Varietas	sianidin-3-glukosida (mg/g)*	Warna gabah
	Aen Metan	0,7953	Hitam
05020-05179	Melik	0,7806	Hitam
05020-04305	Baliman Putih	0,6900	Merah pekat
05020-05330	Sari Kuning	0,6803	Merah pekat
05020-04286	Karamanting	0,6570	Merah pekat
05020-07254	Iden	0,6538	Merah pekat
	Aek Sibundong	0,6496	Merah pekat
05020-19114	KNI.B.361.8.6.9.4.7	0,6437	Merah pekat
05020-04310	Bidui	0,6292	Merah pekat
05020-21425	Padi Kelay	0,6067	Merah pekat
05020-05624	Balap Putih	0,5947	Merah pekat
05020-05821	Badigul	0,5877	Merah
05020-04361	Palu Palaa	0,5840	Merah
05020-20801	Siredep	0,5569	Merah
05020-19112	KNI.B.361.Blk.13.6	0,5431	Merah
05020-04325	Raden Rata	0,5392	Merah
05020-08021	Sitopas	0,5314	Merah
05020-06447	Lakatan Aban	0,5313	Merah
05020-05377	Fadjar	0,5296	Merah
05020-04324	Siam Parupuk	0,5257	Merah
05020-06202	Aceh-aceh	0,4915	Merah
05020-06371	Silimut Sare	0,4889	Merah
05020-05306	Ribon	0,4481	Merah
	Inpari 24	0,4423	Merah
05020-20299	Sigempai	0,4105	Merah
05020-07752	Ketan Nyampah	0,3911	Merah
05020-05462	Cempo Pateng	0,3880	Merah
05020-04311	Randah Pala	0,2777	Merah
05020-06517	Aen Tinuan	0,2219	Merah
05020-21151	Ciherang	0,0444	Putih

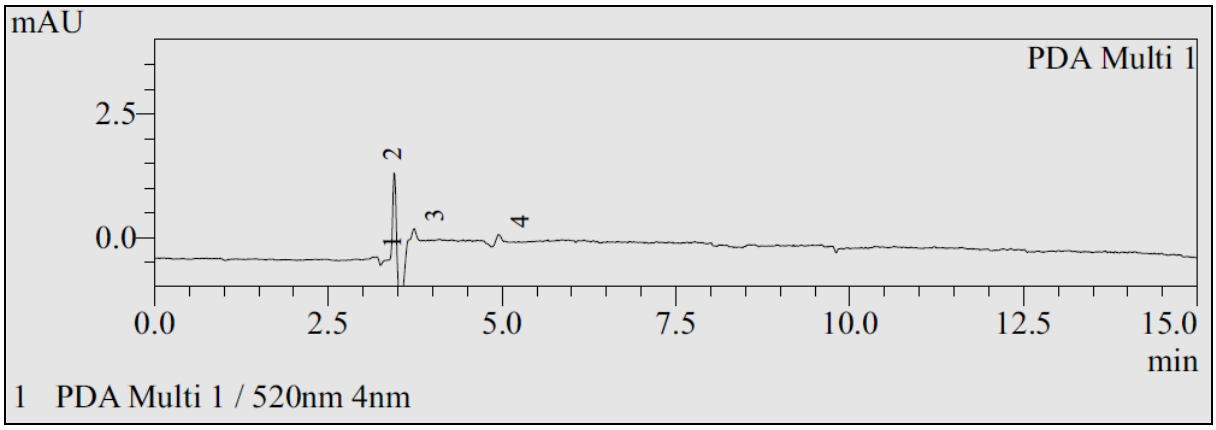
*Urutan sampel varietas sesuai urutan kandungan antosianin dari yang tertinggi ke terendah.

padi putih dan padi merah. Padi hitam merupakan pangan yang bebas dari gluten, bebas kolesterol, rendah gula, garam, dan lemak. Padi hitam bergizi tinggi, kaya serat, antosianin, antioksidan, vitamin B dan E, zat besi, tiamin, magnesium, niasin, dan fosfor. Beberapa studi ilmiah juga menunjukkan bahwa beras hitam merupakan bahan pangan yang paling baik dan seimbang bagi kesehatan (Ling et al. 2002). Permasalahan kesehatan seperti diabetes, kanker, dan jantung yang terkait dengan gaya hidup terus meningkat di masyarakat. Oleh karena itu, penelitian terhadap karakter berkualitas selain dari karbohidrat, protein, dan lemak pada pangan fungsional terus dikembangkan (Zhang et al. 2006).

Hasil analisis kandungan bahan aktif antosianin pada Tabel 1 menunjukkan variasi warna mulai warna hitam, merah pekat, sampai merah hingga putih (pada tanaman kontrol) berurutan sesuai dengan kandungan sianidin-3-glukosida sebagai bahan aktif antosianin. Hasil ini mengindikasikan adanya hubungan kepekatan/kegelapan warna beras dengan kandungan antosianin. Semakin gelap warna beras mengindikasikan semakin tinggi kandungan antosianinnya. Tabel 1 menunjukkan urutan kandungan antosianin tertinggi pada beras merah adalah Baliman Putih (0,6900 mg/g) dan terendah adalah varietas Aen Tinuan (0,2219 mg/g) yang memiliki warna beras merah muda. Salah satu varietas padi merah yang telah dilepas tahun 2012 dengan tekstur nasi pulen, adalah varietas Inpari 24 Gabusan. Sejak dilepas tahun 2012, Inpari 24 Gabusan telah banyak dikenal dan ditanam oleh petani di Indonesia. Berdasarkan deskripsi, Inpari 24 Gabusan memiliki potensi hasil 7,7 t/ha dengan hasil rerata 6,7 t/ha GKG (Balitbangtan 2013). Hasil analisis pada Tabel 1, menunjukkan bahwa Inpari 24 mengandung kandungan bahan antosianin



Gambar 2. Kromatogram kandungan antosianin pada padi Aen Metan.



Gambar 3. Kromatogram kandungan antosianin pada padi Ciherang.

0,4423 mg/g. Kandungan antosianin yang dimiliki oleh Inpari 24 adalah hampir separuh dari kandungan antosianin pada padi hitam.

Dua contoh grafik kromatogram hasil HPLC untuk hasil kandungan bahan aktif antosianin tertinggi dan terendah yaitu pada Aen Metan (padi hitam) dan Ciherang (padi putih) disajikan pada Gambar 2 dan Gambar 3, sedangkan keragaan variasi warna dan bentuk gabah dan beras hitam–merah seperti pada Gambar 4.

Padi beras warna (hitam atau merah) merupakan pangan fungsional karena adanya pigmen antosianin yang merupakan komponen flavanoid yaitu turunan polifenol pada tumbuhan seperti antosianin (bentuk glikon dari antosianidin) merupakan salah satu kelompok bahan alam pada tumbuhan yang berperan sebagai antioksidan, antimikroba, fotoreseptor, *visual attractors*, *feeding repellant*, antialergi, antiviral, dan antiinflamasi (Pietta 2000). Beras hitam memiliki efek antioksidan dan penangkap radikal bebas yang tinggi serta sangat penting sebagai sumber pengembangan antioksidan alami (Zhang et al. 2006), sedangkan beras merah kaya akan metabolit sekunder seperti, asam fenolat, dan alkaloid kuinolin dan juga senyawa tokol (tokoferol dan tokotrienol) (Yawadio et al. 2007). Beragamnya senyawa atau kelompok senyawa hasil metabolit sekunder inilah yang menyebabkan digolongkannya padi beras warna sebagai SDG pangan fungsional. Hal ini karena memiliki berbagai macam fungsi yang menguntungkan bagi kesehatan diantaranya efek psikologis, pertahanan terhadap sitotoksisitas (Chen et al. 2006), aktivitas antineurogeneratif (Kim 2005), dan aktivitas antioksidatif (Nam et al. 2005).

Pendekatan analisis komposisi metabolit pada beras banyak dilakukan menggunakan kromatografi gas kapiler komparatif. Ekstraksi dan fraksinasi protokol yang digunakan memungkinkan analisis spektrum yang luas dari konstituen berat lipofilik dan hidrofilik molekul rendah dari kelas kimia yang berbeda. Metode ini tidak hanya mencakup metabolit primer (misalnya gula, asam lemak), tetapi juga konstituen gizi yang relevan (misalnya α-tokoferol dan asam γ-aminobutirat). Saat ini, sekitar 250 antosianin telah teridentifikasi, namun hanya enam, yakni pelargonidin, sianidin, peonidin, delfinidin, petunidin, dan malvidin, yang biasa ditemukan dalam buah-buahan dan biji-bijian sereal (Escribano-Bailón et al. 2004).

Analisis HPLC menunjukkan bahwa padi subspesies *indica* dan *japonica* signifikan berbeda dalam komposisi antosianin sianidin-3-glukosida

Gambar 4. Keragaan butir beras dan gabah varietas lokal padi warna.

dan peonidin-3-glukosida. Di samping itu, hasil analisis komponen utama dan pengelompokan *agglomerative hierarchical* berdasarkan komposisi metabolit primer menunjukkan adanya pengelompokan yang berbeda pada berbagai subspesies padi beras warna. Dibanding dengan beras non warna, beras hitam memiliki asam lemak metil ester, asam lemak bebas, asam organik, dan asam amino yang lebih tinggi (Hou et al. 2013).

Dua antosianin (sianidin-3-O-β-glukosida dan peonidin-3-O-β-glukosida) dan fenolik lainnya (asam ferulat) terisolasi dari padi beras hitam dan merah (*Oryza sativa* L., *japonica*) (Yawadio et al. 2007). Sianidin berkontribusi membentuk pigmen warna merah ungu dengan λ maksimum 535 nm, sedangkan delfinidin membentuk pigmen warna ungu dengan λ maksimum 546 nm (Harborne 1998).

Karena keunggulan sifat fisikokimia beras merah, yang berhubungan dengan potensi beras merah sebagai pangan fungsional, maka diperkirakan pada masa yang akan datang beras merah ini akan menjadi bahan pangan yang makin banyak diminati dan dibudidayakan oleh petani. Keragaman genetik yang luas dari beras merah lokal menjadi sangat penting dalam perakitan varietas unggulan beras merah agar makin diterima secara luas di masyarakat (Afza 2016).

KESIMPULAN

Analisis kandungan antosianin pada 30 aksesi padi warna, menunjukkan bahwa padi hitam Aen Metan dan Melik mengandung kadar antosianin tertinggi yaitu berturut-turut 0,7953 mg/g dan 0,7806 mg/g. Sedangkan 27 padi merah memiliki kandungan antosianin yang bervariasi dari 0,6900 mg/g (Baliman Putih) sampai 0,2219 mg/g (Aen Tinuan). Padi unggul baru Ciherang yang berwarna putih memiliki kandungan antosianin 0,0444 mg/g. Informasi kandungan antosianin tersebut dapat digunakan oleh pemulia untuk program perakitan varietas padi fungsional. Di samping itu juga dapat bermanfaat bagi para pengguna atau konsumen.

DAFTAR PUSTAKA

Afza, H (2016) Peran konservasi dan karakterisasi plasma nutfah padi beras merah dalam pemuliaan tanaman. *Jurnal Litbang Pertanian*, 35 (3), 127–131. doi:10.21082/jp3.v35n3.2016.p143-153.

Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (2013) *Deskripsi varietas unggul baru padi*. Jakarta, Badan Litbang Pertanian.

Cassidy, A., Rogers, G., Peterson, J., Dwyer, J.T., Lin, H. & Jacques, P.F. (2015) Higher dietary anthocyanin and flavonol intakes are associated with anti-inflammatory effects in a population of US adults. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 102 (1), 172–181. doi:10.3945/ajcn.115.108555.

Castañeda-Ovando, A., Pacheco-Hernández, M.L., Páez-Hernández, M.E., Rodríguez, J.A. & Galán-Vidal, C.A. (2009) Chemical studies of anthocyanins: A review. *Food Chemistry,* 113 (4), 859–871. doi:10.1016/j.foodchem. 2008.09.001.

Chen, G., Wang, H., Zhang, X. & Yang, S.T. (2014) Nutraceuticals and functional foods in the management of hyperlipidemia. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54 (9), 1180–1201. doi:10.1080/10408398.2011.629354.

Chen, X., Hu, Z.P., Yang, X.X., Huang, M., Gao, Y., Tang, W., Chan S.Y., Dai, X., Ye, J. & Ho, P.C. (2006) Monitoring of immune responses to a herbal immuno-modulator in patients with advanced colorectal cancer. *International Immunopharmacology*, 6 (3), 499–508. doi:10.1016/j.intimp.-2005.08.026.

Cordero, Z., Drogan, D., Weikert, C. & Boeing, H. (2010) Vitamin E and risk of cardiovascular diseases: A review of epidemiologic and clinical trial studies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50 (5), 420–440. doi:10.1080/10408390802304230.

Daiponmak, W., Theerakulpisut, P., Thanonkao, P., Vanavichit, A. & Prathepha, P. (2010) Changes of anthocyanin cyanidin-3-glucoside content and antioxidant activity in Thai rice varieties under salinity stress. *Science Asia*, 36, 286–291. doi:10.2306/scienceasia1513-1874.2010.36.286.

Escribano-Bailón, M.T., Santos-Buelga, C. & Rivas-Gonzalo, J.C. (2004) Anthocyanins in cereals. *Journal of Chromatography A.*, 1054 (1–2), 129–141. doi:10.1016/j.chroma.2004.08.152.

Fardet, A. & Chardigny, J.M. (2013) Plant-based foods as a source of lipotropes for human nutrition: A survey of *in vivo* studies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53 (6), 535–590. doi:10.1080/-10408398.2010.549596.

Gardana, C., Ciappellano, S., Marinoni, L., Fachechi, C & Simonetti, P (2014) Bilberry adulteration: identification and chemical profiling of anthocyanins by different analytical methods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62 (45), 10998–11004. doi:10.1021/jf504078v.

Goufo, P. & Trindade, H. (2014) Rice antioxidants: phenolic acids, flavonoids, anthocyanins, proanthocyanidins, tocopherols, tocotrienols, γ-oryzanol, and phytic acid. *Food Science & Nutrition*, 2 (2), 75–104. doi:10.1002/fsn3.86.

Goufo, P. & Trindade, H. (2017) Factors influencing antioxidant compounds in rice. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57 (5), 893–922. doi:10.1080/10408398.2014.922046.

Harborne, J.B. (1998) *Phytochemical methods: a guide to modern techniques of plant analysis*. London, Champman and Hall.

Hou, Z., Qin, P., Zhang, Y., Cui, S. & Ren, G. (2013) Identification of anthocyanins isolated from black rice (*Oryza sativa* L.) and their degradation kinetics. *Food Research International*, 50 (2), 691–697. doi:10.1016/j.foodres.2011.07.037.

Huang, W.Y., Davidge, S.T. & Wu, J. (2013) Bioactive natural constituents from food sources–Potential use in hypertension prevention and treatment. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53 (6), 615–630. doi:10.1080/10408398.2010.550071.

Itani, T. & Ogawa, M. (2004) History and recent trends of red rice in Japan. *Japanese Journal of Crop Science*, 73 (2), 137–147.

Kim, J.S. (2005) Radical scavenging capacity and antioxidant activity of the E vitamer fraction in rice bran. *Journal of Food Science*, 70 (3), 208–213. doi:10.1111/j.1365-2621.2005.tb07127.x.

Kushwaha, U.K.S. (2016) *Black rice: Research, history and development*. Switzerland, Springer. doi:10.1007/978-3-319-30153-2_221.

Landete, J.M. (2013) Dietary intake of natural antioxidants: vitamins and polyphenols. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53 (7), 706–721. doi:10.1080/10408398.2011.555018.

Lazarou, C., Panagiotakos, D. & Matalas, A.L. (2012) The role of diet in prevention and management of type 2 diabetes: implications for public health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52 (5), 382–389. doi:10.1080/10408398.2010.500258.

Li, J., Li, X.D., Zhang, Y., Zheng, Z.D., Qu, Z.Y., Liu, M., Zhu, S.H., Liu, S., Wang, M. & Qu, L. (2013) Identification and thermal stability of purple-fleshed sweet potato anthocyanins in aqueous solutions with various pH values and fruit juices. *Food Chemistry*, 136 (3–4), 1429–1434. doi:10.1016/-j.foodchem.2012.09.054.

Ling, W.H., Wang, L.L. & Ma, J. (2002) Supplementation of the black rice outer layer fraction to rabbits decreases atherosclerotic plaque formation and increases antioxidant status. *The Journal of Nutrition*, 132 (1), 20–26. doi:10.1093/jn/132.1.20.

Lobo, V., Patil, A., Phatak, A. & Chandra, N. (2010) Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. *Pharmacognosy Reviews*, 4 (8), 118–126. doi:10.4103/0973-7847.70902.

Luo, H., Lv, X.D., Wang, G.E., Li, Y.F., Kurihara, H. & He, R.R. (2014) Anti-inflammatory effects of anthocyanins-rich extract from bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) on croton oil-induced ear edema and Propionibacterium acnes plus LPS-induced liver damage in mice. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 65 (5), 594–601. doi:10.3109/09637486.2014.886184.

Marrazzo, G., Barbagallo, I., Galvano, F., Malaguarnera, M., Gazzolo, D., Frigiola, A., D'Orazio, N. & Volti, L. (2014) Role of dietary and endogenous antioxidants in diabetes. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54 (12), 1599–1616. doi:10.1080/10408398.2011.644874.

Nam, S.H., Choi, S.P., Kang, M.Y., Kozukue, N. & Friedman, M. (2005) Antioxidative, antimutagenic, and anticarcinogenic activities of rice bran extracts in chemical and cell assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53 (3), 816–822. doi:10.1021-/jf0490293.

Oki, T., Masuda, M., Kobayash, M., Nishiba, Y., Furuta, S., Suda, I. & Sato, T. (2002) Polymeric procyanidins as radical-scavenging components in red-hulled rice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50 (26), 7524–7529. doi:10.1021/jf025-841z.

Pietta, P.-G. (2000) Flavonoids as antioxidants. *Journal of Natural Products*, 63 (7), 1035–1042. doi:10.1021/-np9904509.

Silitonga, T.S. & Risliawati, A. (2011) Pembentukan *core collection* untuk sumber daya genetik padi toleran kekeringan. *Buletin Plasma Nutfah*, 17 (2), 104–115.

Suardi, D. (2005) Potensi beras merah untuk peningkatan mutu pangan. *Jurnal Litbang Pertanian*, 24 (3), 93–100.

Trigueros, L., Peña, S., Ugidos, A.V., Sayas-Barberá, E., Pérez-Álvarez, J.A. & Sendra, E. (2013) Food ingredients as anti-obesity agents: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53 (9), 929–942. doi:10.1080/10408398.2011.574215.

Yawadio, R., Tanimori, S. & Morita, N. (2007) Identification of phenolic compounds isolated from pigmented rices and their aldose reductase inhibitory activities. *Food Chemistry*, 101 (4), 1616–1625. doi:10.1016/j.foodchem.2006.04.016.

Zhang, M.W., Guo, B., Zhang, R., Chi, J., We, Z., Xu, Z., Zhang, Y. & Tang, X. (2006) Separation, purification and identification of antioxidant compositions in black rice. *Agricultural Sciences in China*, 5 (6), 431–440. doi:10.1016/S16712927-(06)60073-4.